

В. Г. КОВАЛЕВ
ЭЛЕКТРОННЫЕ
РЕГУЛЯТОРЫ
НАПРЯЖЕНИЯ
ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ

МАССОВАЯ
РАДИО
БИБЛИОТЕКА

Выпуск 982

В. Г. КОВАЛЕВ

ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Второе издание, переработанное
и дополненное



Scan AAW



МОСКВА
«ЭНЕРГИЯ» 1978

ББК 32.884.19

К 56

УДК 621.316.722:621.382

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Берг А. И., Белкин Б. Г., Борисов В. Г., Ванеев В. И., Геништа Е. Н., Гороховский А. В., Демьянов И. А., Ельяшkevич С. А., Жеребцов И. П., Коробков В. Г., Смирнов А. Д., Тарасов Ф. И., Чистяков Н. И.

Ковалев В. Г.

К 56 Электронные регуляторы напряжения для автомобилей. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1978. — 72 с., ил. — (Массовая радиобиблиотека; Вып. 982).

35 к.

В книге изложены принципы работы электромеханических и электронных регуляторов напряжения, ограничителей тока и реле обратного тока. Приводятся практические схемы устройств для легковых и грузовых автомобилей. Первое издание книги вышло в 1971 году. Второе издание значительно переработано с учетом современного состояния данной области техники и дополнено описанием новых оригинальных схем, разработанных автором, а также выпускаемых промышленностью.

Книга предназначена для радио- и автолюбителей.

30404-406
К 051(01)-78 127-78

ББК 32.884.19

6Ф2.9

Венедикт Григорьевич Ковалев

Электронные регуляторы напряжения для автомобилей

Редактор Е. К. Сонин

Редактор издательства Н. В. Ефимова

Обложка художника А. А. Иванова

Технический редактор Н. М. Бякирева

Корректор Э. А. Филановская

ИБ № 959

Сдано в набор 24.05.78

Подписано к печати 17.08.78

Т-16146

Формат 84×108¹/₃₂

Бумага типографская № 2 Гарн. шрифта литературная

Печать высокая

Усл. печ. л. 3,78

Уч.-изд. л. 4,84

Тираж 40 000 экз.

Заказ 700

Цена 35 к.

Издательство «Энергия», 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

© Издательство «Энергия», 1978.

Предисловие ко второму изданию

Регулятор напряжения — обязательный элемент электрооборудования любого автомобиля. Широко применяемые электромеханические реле-регуляторы имеют относительно низкую надежность и требуют периодической регулировки в процессе эксплуатации. В последние годы получили развитие электронные регуляторы напряжения, построенные на основе полупроводниковых приборов без применения механических подвижных элементов. Электронные регуляторы напряжения имеют лучшие показатели надежности и эксплуатационные характеристики.

За годы, прошедшие после первого издания настоящей книги, электронные регуляторы стали применяться более широко. Промышленность освоила в серийном производстве несколько типов электронных регуляторов, оснастила ими автомобили последних выпусков. Например, в электронном регуляторе Я112 применена микросхема, основанная на использовании прогрессивной гибридной интегральной технологии.

Во втором издании наряду с сохранившими актуальность материалами первого издания, опубликованного в 1971 г., приведены описания модификаций элементов электронных регуляторов, отличающихся повышенной температурной стойкостью и более широким диапазоном регулирования. Добавлено описание выпускаемых отечественной промышленностью электронных регуляторов напряжения, приведен справочный материал.

Ваши пожелания и отзывы о книге следует направлять по адресу: 113114, Москва М-114, Шлюзовая наб., 10, изд-во «Энергия», редакция массовой радиобиблиотеки.

РАБОТА РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ, ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ТОКА, РЕЛЕ ОБРАТНОГО ТОКА

Назначение регуляторов напряжения. Оптимальное напряжение сети электрооборудования

Основным источником электрической энергии в автомобиле служит генератор. Он предназначен для питания всех потребителей электрической энергии и зарядки аккумуляторной батареи при работе двигателя.

Первоначальное возбуждение генератора обеспечивается остаточным магнетизмом его стального корпуса и полюсных наконечников, в результате чего уже при небольших частотах вращения якоря индуцируется э. д. с. примерно 1,5—2 В. Появляющийся в цепи обмотки возбуждения ток вызывает увеличение намагничивания корпуса и полюсных наконечников, и э. д. с. в обмотке якоря повышается. При частоте вращения якоря генератора 800—1000 об/мин э. д. с. 6-вольтовых генераторов достигает 7—8 В, 12-вольтовых — 13—15 В, а 24-вольтовых 26—30 В.

Индуцируемая генератором э. д. с. возрастает при увеличении магнитного потока возбуждения и частоты вращения якоря и уменьшается с увеличением тока нагрузки генератора. Частота вращения вала двигателя автомобиля изменяется в процессе работы в 6—10 раз, а электрическая нагрузка — примерно в 10 раз. Отсюда следует, что для поддержания постоянного напряжения на нагрузке при различных режимах работы автомобиля необходимо осуществлять регулирование магнитного потока возбуждения генератора. Он регулируется изменением силы тока, проходящего по обмотке возбуждения генератора.

Изменение тока возбуждения по определенному закону в зависимости от частоты вращения якоря и нагрузки генератора осуществляется регулятором напряжения. При всех возможных режимах работы генератора (отключенных и полностью включенных потребителей электроэнергии, номинальных и максимальных оборотах двигателя), а также при изменениях температуры окружающей среды и влажности отклонение напряжения на потребителях электроэнергии не должно превышать $\pm 3\%$ оптимального значения.

Надежная работа автомобиля во многом зависит от хорошего состояния аккумуляторной батареи. Для этого необходима правильная подзарядка ее в ходе эксплуатации.

Установлено¹, что при повышении напряжения генератора выше

¹ Н. М. Ильин. Электрооборудование автомобилей. М., «Транспорт», 1968, с. 33.

оптимального на 10—12% срок службы аккумуляторных батарей и ламп сокращается в 2—2,5 раза. Поэтому очень важно правильно выбрать напряжение сети, оптимальное для данных условий.

Для автомобилей с номинальным напряжением электрооборудования 12 В оптимальные напряжения сети приведены в табл. 1. Измерения производились при точности установки напряжения $\pm 0,2$ В. При номинальном напряжении генератора 6 В оптимальное напряжение сети следует взять в 2 раза меньше, а при 24 В — в 2 раза больше. Чем точнее поддерживается оптимальное напряжение при подзарядке аккумуляторной батареи, тем больше срок ее службы.

Таблица 1

**Оптимальные напряжения сети для подзарядки
12-вольтовых аккумуляторных батарей (в вольтах)**

Место установки аккумуляторной батарей	Климатическая зона					
	Южная		Центральная		Северная	
	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима
Под капотом	13,3	13,5	13,7	14,2	13,8	14,6
Снаружи	13,5	14,2	14,0	14,5	14,0	15,0

При эксплуатации старых аккумуляторных батарей, имеющих повышенное внутреннее сопротивление из-за разрушения активного слоя пластин или их сульфатации, напряжение в сети должно быть на 0,2—0,5 В больше указанного в табл. 1.

При систематическом уменьшении уровня электролита в аккумуляторе вследствие сильного кипения следует понизить напряжение в сети на 0,2—0,3 В.

При использовании электронного регулятора напряжения напряжение в сети автомобиля можно изменять с помощью переменного резистора. Некоторые автолюбители размещают этот резистор в кабине автомобиля, что позволяет при различных условиях работы, например при длительных и коротких поездках, изменять режим подзарядки аккумуляторной батареи оптимальным образом с учетом сезона и степени ее разряженности.

Если напряжение в сети выбирается таким, чтобы обеспечить хорошие условия для подзарядки аккумуляторной батареи, то на электрооборудование при работе генератора будет поступать напряжение, на 10—20% выше напряжения, на которое рассчитаны осветительные лампы. Срок службы ламп при таком напряжении сократится в 2—3 раза.

Для увеличения срока службы ламп и особенно дефицитных — галогенных и ламп-фар целесообразно включать в цепь, идущую к лампе или фаре, резистор с небольшим сопротивлением. Резистор изготовляют из толстой высокоомной проволоки (например, из спирали электрической плитки), а его сопротивление подбирают таким, чтобы на нем падал излишек напряжения. Следует, однако, помнить, что при работе от аккумуляторной батареи лампы в этом случае будут давать несколько меньший световой поток.

С увеличением напряжения в сети увеличивается мощность искры в системе зажигания. Следствием этого может быть пробой ка-

тушки зажигания, однако при увеличении напряжения до 30% этого, как правило, не происходит.

Радиоприемники, устанавливаемые в автомобилях, имеют стабилизаторы напряжения, поэтому колебания сети в допустимых пределах на их работе не сказываются.

Регулятор напряжения

Автомобильный реле-регулятор (рис. 1) содержит три основных элемента: регулятор напряжения, реле обратного тока и ограничитель максимального тока. Обычно все эти функции выполняют электро-механические реле.

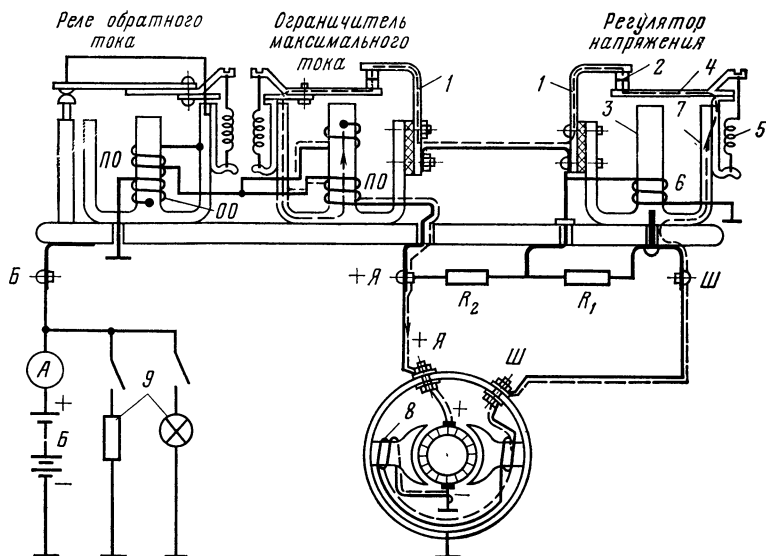


Рис. 1. Упрощенная схема реле-регулятора автомобиля.

Постоянное напряжение при изменении частоты вращения якоря и изменении электрической нагрузки (включение и выключение потребителей электроэнергии 9-аккумуляторной батареи, фар, радиоприемника и др.) поддерживает регулятор напряжения. Кроме требования высокой точности поддержания постоянства напряжения генератора к регулятору напряжения предъявляют обычно еще следующие: высокая надежность, большой срок службы, простота регулирования напряжения, отсутствие высокочастотных помех.

Регулирование напряжения реле-регулятором происходит следующим образом. При напряжении генератора ниже заданного контакты 2 регулятора удерживаются пружиной 5 в замкнутом состоянии. При этом через замкнутые контакты в цепи обмотки возбуждения проходит ток. Путь тока возбуждения следующий:

отрицательная щетка генератора, обмотка 8 возбуждения, зажим III генератора, зажим III регулятора, ярмо 7, якореk 4, контакты 2, пластина I неподвижного контакта, такая же пластина ограничителя максимального тока, контакты, якореk, ярмо, обмотки, зажим +Я, положительная щетка генератора.

Одновременно ток поступает в обмотку 6 регулятора напряжения, в результате чего происходит незначительное намагничивание сердечника 3. При увеличении напряжения генератора увеличивается ток в обмотке 6 регулятора напряжения, что вызывает увеличение намагничивания сердечника, и в момент, когда сила магнитного притяжения якореk 4 к сердечнику 3 станет больше силы натяжения пружины 5, произойдет размыкание контактов 2. При разомкнутых контактах в цепь обмотки возбуждения генератора включится последовательно добавочный резистор R_1 , который вызовет уменьшение тока в обмотке возбуждения генератора. Уменьшение тока возбуждения приведет к уменьшению магнитного потока возбуждения, что в свою очередь уменьшит индуцируемую э. д. с. в обмотке якореk, и напряжение генератора понизится. При понижении напряжения генератора уменьшится ток в обмотке регулятора напряжения, намагничивание сердечника также уменьшится и усилием пружины якореk контакты регулятора напряжения вновь замкнутся. Добавочный резистор R_1 при этом будет замкнут накоротко контактами. Это приведет к увеличению тока в обмотке возбуждения генератора, а следовательно, напряжение генератора снова возрастет.

Таким образом, контакты регулятора напряжения периодически размыкаются и замыкаются, благодаря чему ток возбуждения изменяется в зависимости от частоты вращения якореk генератора, а напряжение генератора поддерживается постоянным.

В момент размыкания контактов регулятора из-за уменьшения тока возбуждения уменьшается магнитный поток возбуждения. Пересекая витки катушек обмотки возбуждения, магнитный поток индуцирует в них э. д. с. самоиндукции, совпадающую с направлением убывающего тока. При этом э. д. с. самоиндукции препятствует резкому уменьшению тока в цепи возбуждения, что вызывает замедление убывания магнитного потока, а вместе с ним и уменьшение напряжения генератора. Поэтому, несмотря на скачкообразное изменение напряжения возбуждения, напряжение генератора меняется плавно.

С увеличением частоты вращения якореk за время, в течение которого контакты регулятора напряжения разомкнуты, не происходит значительного уменьшения тока в обмотке реле и его сердечник будет размагничиваться медленно, что способствует длительному удержанию контактов в разомкнутом состоянии. Следовательно, с увеличением частоты вращения якореk добавочный резистор будет включаться в цепь обмотки возбуждения генератора на большее время. Это и будет основной причиной уменьшения среднего значения тока возбуждения при увеличении частоты вращения якореk. Уменьшение среднего значения тока возбуждения сопровождается уменьшением магнитного потока возбуждения, поэтому напряжение генератора остается практически постоянным. Такой метод регулирования называется импульсным; он находит широкое применение и в электронных регуляторах напряжения.

Заметим, что применение добавочного резистора не является обязательным, можно полностью разрывать цепь обмотки возбужде-

ния. Однако в этом случае наблюдается сильное искрение между контактами регулятора напряжения, которые быстро обгорают и выходят из строя. Сопротивление добавочного резистора подбирают из расчета поддержания регулятором заданного напряжения при максимальной частоте вращения якоря генератора и минимальной нагрузке. Если сопротивление добавочного резистора меньше расчетного, то ток в цепи возбуждения при разомкнутых контактах регулятора будет больше, что сопровождается более высоким напряжением генератора, а следовательно, и большим током в обмотке регулятора напряжения. В результате при большой частоте вращения якоря контакты регулятора будут все время разомкнуты и увеличение частоты вращения якоря будет сопровождаться увеличением напряжения генератора, т. е. регулятор не будет выполнять своего назначения.

Поскольку изменения напряжения возбуждения носят импульсный характер, напряжение на якоре генератора и в сети автомобиля будет пульсирующим. Это может привести к миганию ламп и увеличению фона в радиоприемнике автомобиля. Обычно этот недостаток устраняется путем повышения частоты срабатывания регулятора напряжения. При частоте пульсаций 25 Гц мигание ламп становится незаметным. Повышение частоты пульсаций облегчает и борьбу с фоном в радиоприемнике: чем она выше, тем легче отфильтровать фон.

Для повышения частоты вибрации контактов в реле-регуляторе применяются специальные схемы, ускоряющие срабатывание реле. Кроме того, в электромеханическом регуляторе напряжения имеются дополнительные элементы для температурной компенсации изменения режима работы регулятора, специальные обмотки для выравнивания напряжения в диапазоне изменения частоты вращения якоря генератора и др.

Несмотря на сложность конструкции электромеханические регуляторы напряжения не позволяют получить высокую стабильность напряжения. Точность поддержания напряжения при изменениях температуры, сопротивления электрической нагрузки и частоты вращения якоря составляет 10—15%.

Настройка регулятора напряжения сложна и плохо сохраняется во времени, так как пружина, определяющая момент срабатывания якоря реле-регулятора и частоту его вибраций, меняет свои параметры в процессе старения от тряски и изменения окружающей температуры.

Контакты регулятора из-за постоянного искрения обгорают, что приводит к увеличению переходного сопротивления между контактами и зазора между ними и в конечном итоге — к изменению напряжения генератора.

Поэтому реле-регуляторы вибрационного типа в большинстве случаев требуют дополнительной регулировки и чистки контактов после пробега 10—15 тыс. км.

Реле-регуляторы подобного типа являются источниками высокочастотных помех, ухудшающих качество приема радио- и телевизионных передач.

Электронные регуляторы напряжения позволяют устранить указанные недостатки, повысить надежность работы электрооборудования автомобиля или мотоцикла, упростить обслуживание. Отсюда понятно внимание, которое уделяется ведущими автомобильными фирмами СССР, США, Франции и ФРГ, электронным регуляторам напряжения и тока.

Ограничитель максимального тока

Для предупреждения перегрева и последующего разрушения изоляции обмотки якоря и обмотки возбуждения генератора необходимо ограничивать максимальный ток, отдаваемый генератором. Перегрузка генератора может возникнуть при заряде сильно разряженной аккумуляторной батареи, включении большого количества потребителей электроэнергии или коротком замыкании в электропроводке автомобиля.

Ограничитель максимального тока (см. рис. 1) представляет собой электромеханическое реле, подобное реле регулятора напряжения. По последовательной обмотке ограничителя максимального тока проходит весь ток, отдаваемый генератором. Если этот ток меньше допустимого (18—20 А для легковых автомобилей), то контакты реле удерживаются в замкнутом состоянии усилием пружины. При этом ток возбуждения проходит через контакты ограничителя. Если же ток, отдаваемый генератором, достигнет максимального допустимого значения, то намагничивание сердечника увеличится и якорек, притягиваясь к нему, вызовет размыкание контактов. При этом в цепь обмотки возбуждения включится резистор R_2 , что вызовет уменьшение тока в цепи обмотки возбуждения генератора и, следовательно, понижение его напряжения. Если ток уменьшится, то уменьшится и намагничивание сердечника реле и под действием пружины его контакты снова замкнутся. После этого ток возбуждения увеличится, напряжение генератора повысится, а вместе с этим снова увеличится ток в обмотках ограничителя максимального тока, опять произойдет размыкание контактов и т. д.

Таким образом, максимальный ток не будет превышать допустимого. Такое реле предохраняет генератор от перегрузки во всех случаях, кроме короткого замыкания. Так как при размыкании реле ток в обмотке возбуждения не прекращается, а контакты регулятора напряжения замкнуты, то при повышении частоты вращения якоря генератора и коротком замыкании в цепи нагрузки ток генератора может превысить допустимое значение.

Ограничение максимального тока применением электронного прибора позволяет избежать основных недостатков, присущих электромеханическим устройствам, и повысить надежность работы регулятора.

Реле обратного тока

Реле обратного тока предназначено для предупреждения разряда аккумуляторной батареи и перегрева генератора вследствие этого разряда. Для этого оно осуществляет замыкание электрической цепи между генератором и аккумуляторной батареей, когда напряжение генератора превышает напряжение батареи, и размыкание цепи, когда напряжение генератора становится меньшим, чем напряжение батареи.

При неработающем генераторе, а также когда напряжение работающего генератора меньше 11,8—13,0 В (для 12-вольтового электрооборудования), контакты реле удерживаются в разомкнутом состоянии усилием пружины якоря.

При работающем генераторе по параллельной обмотке реле протекает ток генератора и намагничивает сердечник. Путь тока в цепи параллельной обмотки (см. рис. 1): отрицательная щетка генератора, масса, параллельная обмотка *ОО*, сердечник, ярмо, последовательная обмотка *ПО*, последовательная обмотка ограничителя максимального тока, зажим $+Я$ реле-регулятора, зажим $+Я$ генератора, положительная щетка генератора.

По мере увеличения напряжения генератора увеличивается ток в параллельной обмотке реле и намагничивание сердечника усиливается.

Намагничиванию сердечника способствует и последовательная обмотка, так как ее магнитный поток действует в одну сторону с магнитным потоком параллельной обмотки. При некотором напряжении генератора магнитная сила притяжения сердечника преодолевает упругую силу пружины, якорек притягивается к сердечнику и контакты реле замыкаются. Аккумулятор и другие потребители тока подключаются к генератору.

После замыкания контактов по последовательной обмотке будет проходить весь ток, отдаваемый генератором. При этом магнитный поток последовательной обмотки еще больше усиливает намагничивание сердечника, что обеспечивает надежное замыкание контактов реле обратного тока.

Путь зарядного тока: отрицательная щетка генератора, масса, аккумуляторная батарея, амперметр, зажим *Б* реле-регулятора, контакты, ярмо, последовательная обмотка, последовательная обмотка ограничителя максимального тока, зажим $+Я$ реле-регулятора, зажим $+Я$ генератора, положительная щетка генератора.

Если напряжение генератора станет меньше э. д. с. батареи, из аккумуляторной батареи в генератор и параллельную обмотку реле начнет поступать разрядный ток 0,5—6 А. Этот ток будет проходить через последовательную обмотку реле в обратном направлении, а ток в параллельной обмотке реле будет следовать в том же направлении, что и ток, поступающий в эту обмотку от генератора.

Так как направление обратного тока в последовательной обмотке реле будет противоположным направлению тока в параллельной обмотке, то магнитный поток сердечника уменьшится и контакты реле под действием пружины разомкнутся. Разряд аккумуляторной батареи через генератор прекратится.

Реле обратного тока будет находиться в разомкнутом состоянии до тех пор, пока вследствие повышения частоты вращения якоря напряжение генератора не превысит напряжения срабатывания реле обратного тока.

К сожалению, кроме перечисленных выше общих недостатков, присущих всем электромеханическим реле, реле обратного тока неполностью удовлетворяют и своему прямому назначению. Выше было показано, что замыкание контактов реле определяется напряжением генератора и силой натяжения пружины реле. Натяжение пружины устанавливают таким, чтобы реле срабатывало от напряжения 11,8—13 В. Но установленное напряжение срабатывания не учитывает текущего состояния аккумуляторной батареи, в зависимости от которого напряжение на батарее даже в течение нескольких минут может изменяться на 2—4 В. Это наблюдается, например, при работе стартера и последующей интенсивной подзарядке.

Если реле обратного тока отрегулировано на напряжение срабатывания 12 В, а фактическое напряжение аккумуляторной батареи 11 В, то потребуются дополнительное время и увеличение частоты вращения, чтобы напряжение генератора стало больше 12 В, реле сработало и батарея начала заряжаться. Через некоторое время напряжение батареи достигнет 12,5—13,5 В, и при каждом случае, когда напряжение генератора будет меньше этих значений, аккумуляторная батарея будет разряжаться.

Более того, для размыкания реле требуется, чтобы по нему проходил ток до 6 А. Следовательно, само реле потребляет до 30% мощности генератора легкового автомобиля. Поскольку такие переходные режимы наблюдаются довольно часто, особенно при движении по городу, не приходится удивляться небольшому сроку службы аккумуляторных батарей.

ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОННОГО РЕГУЛЯТОРА

Реле обратного тока

Электронный регулятор напряжения состоит из тех же основных элементов, что и электромеханический. Выше были отмечены недостатки, присущие реле обратного тока в электромеханическом исполнении. Между тем, простейший прибор — полупроводниковый диод практически идеально выполняет функции реле обратного тока.

Действительно, включение диода между незаземленным полюсом якоря генератора и аккумуляторной батареей позволяет регулировать протекание тока между аккумуляторной батареей и генератором подобно реле обратного тока. Так как диод имеет одно-

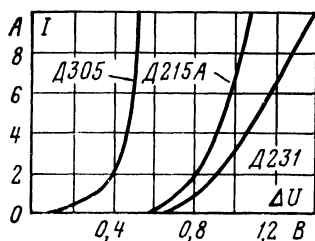


Рис. 2. Зависимость падения напряжения на диоде тока, проходящего через диод.

стороннюю проводимость, аккумуляторная батарея ни при каких условиях не может разряжаться через генератор. Заряжаться же она начнет сразу, как только напряжение на якоре генератора станет больше напряжения аккумуляторной батареи на определенное значение и диод начнет пропускать ток. Это значение равно падению напряжения на диоде и зависит от типа диода и тока, проходящего через него (рис. 2). При номинальном токе 10 А падение напряжения на германиевом диоде составляет 0,5 В, на кремниевом диоде — примерно 1,0 В. Для сравнения укажем, что падение напряжения на обмотках и переходных сопротивлениях

контактов электромеханического реле обратного тока и реле-ограничителя максимального тока, соединенных последовательно, составляет 1,5—2,0 В. При загрязнении, обгорании и окислении контактов падение напряжения на них может быть больше.

В качестве реле обратного тока могут быть использованы диоды, допустимый выпрямленный ток которых не менее максимального тока генератора. Допускается параллельное соединение нескольких диодов. Основные параметры диодов, наиболее пригодных для применения в качестве реле обратного тока, приведены в прилож. 1.

При параллельном соединении двух или более диодов их следует брать из одной партии, а еще лучше подобрать по принципу равного падения напряжения при максимальном токе. Падения напряжения на диодах не должны отличаться более чем на 0,05 В, иначе через диод, имеющий меньшее падение напряжения, будет идти больший ток и диод будет перегреваться.

Для реле обратного тока предпочтительнее применять кремниевые диоды, так как они допускают нагрев до 130°C, а падение напряжения на них удастся использовать для работы схемы ограничителя максимального тока.

Все диоды имеют небольшие габариты и массу; срок службы их составляет не менее 5000 ч. Применяемые в качестве реле обратного тока диоды должны иметь теплоотвод с эквивалентной площадью 100—150 см², так как при максимальном токе нагрузки 20 А на двух диодах будет рассеиваться мощность около 25 Вт. Это единственные элементы в импульсном электронном регуляторе напряжения, которые выделяют заметное количество тепла.

При повышении температуры до 70°C падение напряжения на диоде уменьшается на 0,1 В, а при нагреве до 120°C (для кремниевых диодов) — на 0,2 В.

Это позволяет выполнить дополнительную стабилизацию напряжения сети автомобиля при изменении нагрузки. Дело в том, что с увеличением тока через диоды падение напряжения на них тоже увеличивается. Однако при увеличении силы тока повышается температура диода, что сопровождается уменьшением падения напряжения на нем. В результате напряжение на нагрузке остается примерно постоянным.

Измерительные элементы

Любой регулятор напряжения совместно с генератором представляет собой замкнутую систему автоматического регулирования. Как правило, такие регуляторы работают по принципу компенсационного регулирования, основанному на использовании отклонения регулируемой величины от заданного значения.

Регулятор напряжения состоит из измерительного и управляющего элементов. Нагрузкой управляющего (регулирующего) элемента служит обмотка возбуждения генератора. Напряжение с якоря генератора подается на измерительный элемент, связанный с регулирующим, чем обеспечивается обратная связь в системе регулирования. Структурная схема системы автоматического регулирования напряжения генератора приведена на рис. 3.

Измерительный элемент предназначен для получения сигнала рассогласования. В нем происходит сравнение значения регулируемого напряжения с заданным стабилизированным напряжением,

Сигнал рассогласования от измерительного элемента воздействует на управляющий элемент, а через него на объект регулирования — генератор. Точность регулирования напряжения регулятором зависит в основном от стабильности характеристик измерительного элемента и его чувствительности.

В качестве измерительного элемента может быть предложен ряд устройств. Наиболее распространенный в этой области измерительный элемент — электромеханическое реле. Его применяли во

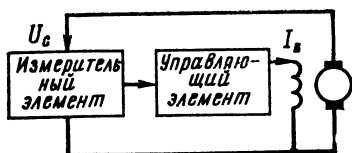


Рис. 3. Структурная схема системы автоматического регулирования напряжения генератора.

всех выпускавшихся до сих пор реле-регуляторах. Здесь в одном устройстве совмещены измерительный и управляющий элементы. Работа такого реле была рассмотрена ранее. При работе реле-регулятора его якорь непрерывно вибрирует, а э. д. с., индуцируемая в обмотке якоря, колеблется около некоторого среднего значения $E_{ном}$.

Изменения тока в обмотке возбуждения и напряжения на якоре генератора при работе реле-регулятора показаны на рис. 4. На рисунке видно, что изменение напряжения на якоре генератора происходит медленнее, чем изменение тока возбуждения. Это явление связано с инерционностью магнитного потока генератора и позволяет использовать импульсный режим регулирования напряжения генератора.

Изменение тока возбуждения, необходимое для поддержания постоянного напряжения на якоре генератора, достигается изменением соотношения интервалов времени замкнутого и разомкнутого состояний контактов реле-регулятора. При увеличении частоты вращения якоря генератора и постоянной нагрузке ток возбуждения следует уменьшать. Это обеспечивается тем, что по мере увеличения частоты вращения якоря генератора длительность замкнутого состояния контактов уменьшается (рис. 4, б), из-за чего среднее значение тока возбуждения снижается.

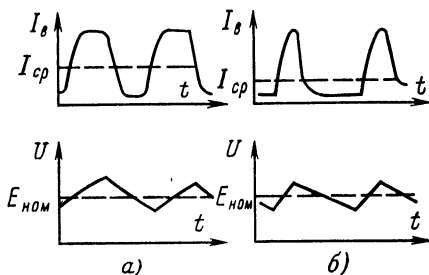


Рис. 4. Форма тока в обмотке возбуждения на якоре генератора.

а — малая частота вращения; б — большая частота вращения.

Диапазон регулирования¹ такого регулятора определяется соотношениями обмоток возбуждения и добавочного резистора. Максимальный ток возбуждения будет наблюдаться при замкнутых контактах, минимальный — при полностью включенном добавочном резисторе.

Следует помнить, что значительно увеличивать сопротивление добавочного резистора для увеличения пределов регулирования нельзя, так как в этом случае при размыкании контактов будут

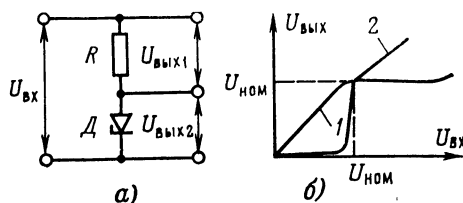


Рис. 5. Измерительный элемент для транзисторов *n-p-n* типа.

а — схема; *б* — зависимости $U_{\text{вых}}$ от $U_{\text{вх}}$ по отношению к плюсу (1) и минусу (2).

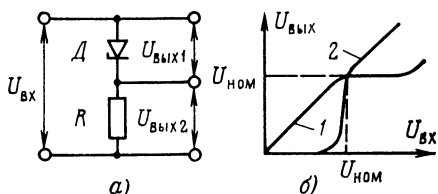


Рис. 6. Измерительный элемент для транзисторов *p-n-p* типа.

а — схема; *б* — зависимости $U_{\text{вых}}$ от $U_{\text{вх}}$ по отношению к минусу (1) и плюсу (2).

регулятора выполняются одним механическим реле, диапазон регулирования равен 12, то для регулятора РР362 — примерно 15. Практически это означает, что в последнем случае лучше используются потенциальные возможности регулятора для поддержания постоянного напряжения на якоре генератора.

К сожалению, реле как измерительному элементу присущи и другие недостатки: сложность регулировки номинального напряжения, малая чувствительность, большая температурная зависимость, чувствительность к тряске и вибрациям, сравнительно малый срок службы. Поэтому дальнейшее совершенствование регуляторов напряжения идет по пути замены механических реле в измеритель-

создаваться большие перепады тока и напряжения. Это приведет к образованию искрения, обгоранию поверхности контактов и нарушению регулировки реле.

Для увеличения диапазона регулирования разделяют функции измерительного элемента и регулятора. Так, в реле-регуляторе РР362, собранном по схеме, приведенной на рис. 38, механическое реле выполняет функцию только измерительного элемента, а ток возбуждения регулируется транзистором. В результате этого увеличивается в несколько раз срок службы реле-регулятора, уменьшается искрение. Увеличивается диапазон регулирования. Так, если для одноступенчатого реле-регулятора РР24Г2, у которого функции измерительного элемента и

¹ Диапазон регулирования регулятора напряжения — это отношение максимального и минимального токов, протекающих через регулятор. Токи определяются при номинальном напряжении и постоянном сопротивлении обмотки возбуждения генератора.

ном элементе бесконтактными электронными схемами. Рассмотрим некоторые из них. Наиболее простые бесконтактные измерительные схемы (рис. 5,а и 6,а) строят на стабилитронах.

Стабилитрон представляет собой специальный тип кремниевого диода. Замечательное свойство стабилитрона заключается в том, что при определенном значении обратного напряжения (напряжении пробоя) происходит резкое увеличение тока без изменения напряжения. В этой области напряжение на стабилизаторе почти не изменяется при изменении тока в большом диапазоне. С этим напряжением, называемым напряжением стабилизации, и сравнивается регулируемое напряжение в измерительных элементах регуляторов напряжения.

Схема на рис. 5,а состоит из последовательно соединенных стабилитрона D и резистора R . Зависимости напряжения на элементах этой схемы от входного напряжения показаны на рис. 5,б. По достижении входным напряжением некоторого значения $U_{ном}$, зависящего от напряжения стабилизации $E_{ст}$ стабилитрона и сопротивления резистора R , происходит пробой стабилитрона, после чего напряжение на нем $U_{вых2}$ остается постоянным. Напряжение $U_{вых1}$ на резисторе R продолжает увеличиваться. Очевидно, что напряжение на резисторе R пригодно для управления транзисторами типа $n-p-n$, для которых общей является минусовая шина источника питания. Такие транзисторы будут отпираться в момент достижения входным напряжением значения $U_{ном}$.

На рис. 6,а приведен другой вариант измерительного элемента. Из его выходных характеристик (рис. 6,б) видно, что он может быть использован для управления транзисторами типа $p-n-p$, имеющими общую плюсовую шину источника питания. Данная схема позволяет отпереть транзистор типа $p-n-p$ при $U_{вх} \geq U_{ном}$.

Рассмотрим, какие возможности представляют стабилитроны по напряжению стабилизации и допустимому току. Данные основных параметров кремниевых стабилитронов, выпускаемых в настоящее время, приведены в прилож. 2. Резистор R следует выбирать таким, чтобы при минимальном напряжении $U_{ном}$ генератора ток через стабилитрон был не менее $0,1I_{ст. макс}$. По току стабилитрон должен быть выбран таким образом, чтобы максимальный допустимый ток стабилизации $I_{ст. макс}$ был в 2—3 раза больше тока базы транзистора, который отпирается стабилитроном.

Стабилитроны выпускаются на напряжение стабилизации от 3 до 180 В. Изменением сопротивления резистора R можно увеличить напряжение на стабилитроне примерно до $1,5U_{ст}$ (где $U_{ст}$ — паспортное значение напряжения стабилизации). Если учесть, что стабилитрон может быть использован для стабилизации напряжения при прямом включении ($U_{ст}=0,7\div 1$ В) и допускается последовательное включение нескольких стабилитронов, при котором напряжение $U_{ном}$ увеличивается в 2 и более раз, то напрашивается вывод, что входное напряжение для указанных выше измерительных схем может лежать в пределах от 1 до 500 В.

Наибольшее распространение получили стабилитроны Д814. Но они обеспечивают надежное отпирание только маломощных транзисторов. Стабилитроны Д815, Д816 могут работать с транзисторами большой мощности.

Все рекомендуемые стабилитроны — кремниевые. Они имеют интервал рабочих температур $-60\div +120^\circ\text{C}$. Температурный коэффициент напряжения стабилизации стабилитронов относительно мал.

Так, для стабилитронов Д814 он менее $0,1\%/^{\circ}\text{C}$. Это означает, что при изменении температуры на $\pm 20^{\circ}\text{C}$ напряжение стабилизации изменится на $\pm 2\%$, даже если не принимать специальных мер.

Для компенсации температурной нестабильности напряжения стабилизации может быть применено последовательное соединение стабилитронов, включенных в прямом и обратном направлениях. Дело в том, что температурный коэффициент зависит от напряжения стабилизации. При напряжении выше 5 В он положителен, менее 5 В — отрицателен. Таким образом, стабилитрон, как и вообще все полупроводниковые диоды, имеет отрицательный температурный коэффициент при прямом включении. Это явление используется для термокомпенсации.

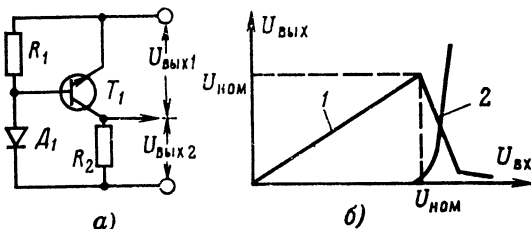


Рис. 7. Измерительный элемент с транзистором $n-p-n$ типа с нагрузкой в цепи коллектора.

a — схема; b — зависимости $U_{\text{вых}}$ от $U_{\text{вх}}$ по отношению к минусу (1) и плюсу (2).

Другим способом температурной компенсации может быть включение в схему измерительного элемента терморезисторов.

Схемы измерительного элемента на стабилитроне (см. рис. 5, a и 6, a) не могут одновременно выполнять функции управляющего элемента, так как стабилитроны по достижении входного напряжения $U_{\text{ном}}$ отпираются и начинают проводить ток, в то время как для регулирования напряжения генератора нужно иметь максимальный ток в обмотке возбуждения при напряжении генератора ниже номинального и уменьшать ток по достижении номинального значения напряжения. Поэтому управляющим элементом в электронных регуляторах обычно служит транзистор.

На рис. 7 приведена схема измерительного элемента на транзисторе типа $n-p-n$ с нагрузкой в цепи коллектора и его выходные характеристики. Схема достаточно чувствительна, имеет большую крутизну на рабочем участке (около $U_{\text{вх}} = U_{\text{ном}}$) и малое остаточное напряжение между коллектором и эмиттером $U_{\text{КЭ}}$ отпертого транзистора. Ток в нагрузке R_2 изменяется соответственно кривой 2. При необходимости использования транзистора $p-n-p$ типа в этой схеме следует изменить на противоположную полярность питающего напряжения и включение стабилитрона (рис. 8).

Применение в измерительном элементе транзистора с нагрузкой в цепи эмиттера нецелесообразно.

Схемы, приведенные на рис. 7 и 8, характеризуются высокой чувствительностью измерительного элемента к изменению напряжения на генераторе и малым остаточным напряжением $U_{\text{КЭ}}$ отпер-

того транзистора. Это обеспечивает надежное запираение и отпирание транзистора управляющего элемента, что предопределяет большой диапазон регулирования по току регулятора напряжения.

Представляет значительный интерес возможность совмещения функций измерительного и управляющего элементов. Энергетические характеристики современных стабилитронов и транзисторов допускают такое совмещение, однако обеспечить необходимое фазирование трудно.

Конечно, различными усложнениями можно создать совмещенные схемы измерительного и управляющего элементов, но, как будет показано ниже, такие схемы имеют значительные недостатки. В общем же случае требуется еще один каскад для переворачи-

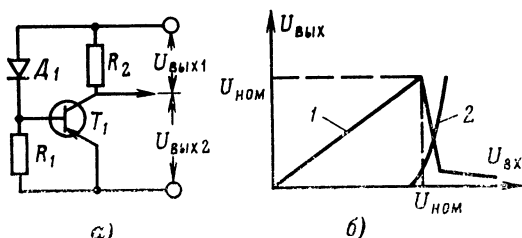


Рис. 8. Измерительный элемент с транзистором *p-n-p* типа и нагрузкой в цепи коллектора.

а — схема; б — зависимости $U_{вых}$ от $U_{вх}$ по отношению к плюсу (1) и минусу (2).

вания фазы. Поэтому регулятор напряжения обычно имеет по крайней мере два каскада. Первый каскад — измерительный выполняет задачу выделения сигнала ошибки напряжения генератора. Второй каскад — управляющий регулирует ток возбуждения генератора.

Общие требования к управляющему элементу

Для того чтобы обоснованно предъявить требования к управляющему элементу и правильно выбрать транзистор, необходимо знать параметры генератора (см. прилож. 3), для которого проектируется регулятор.

При разработке электронных реле-регуляторов и выборе их схемы должны быть приняты во внимание следующие параметры генератора: номинальное напряжение, ток нагрузки и максимальный ток возбуждения. По значению рабочего напряжения генератора определяется максимальное напряжение между эмиттером и коллектором транзисторов. При номинальном напряжении сети 12 В и при возможности некоторого повышения напряжения во время работы генератора допустимое напряжение между коллектором и эмиттером транзистора должно быть не менее 15 В.

Силовые диоды для реле обратного тока выбирают с учетом тока нагрузки. Максимальный ток возбуждения определяет выбор мощного транзистора, работающего в управляющем элементе. Так,

транзистор для регулятора напряжения генератора Г12 должен иметь максимальный допустимый ток коллектора не менее 1,7 А и допустимое напряжение пробоя между коллектором и эмиттером не менее 15 В. Для регулятора напряжения генератора Г108М допустимый ток коллектора должен быть не менее 3 А, а напряжение не менее 15 В.

Для повышения диапазона регулирования напряжения очень важен еще один параметр транзисторов — остаточное напряжение между коллектором и эмиттером в отпертом состоянии. Чем меньше остаточное напряжение, тем в большей степени используется регулировочная характеристика генератора, тем меньше греется транзистор и тем выше к. п. д. регулятора напряжения.

Транзисторы схем управления

Рассмотрим основные параметры транзисторов, которые могут быть использованы в качестве управляющих элементов (см. прилож. 4).

Для элементов регулирования необходимо использовать транзисторы, допускающие большой ток и высокую температуру нагрева, имеющие большой коэффициент передачи и наименьшее оста-

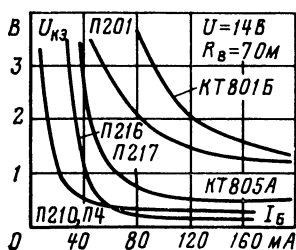


Рис. 9. Зависимости $U_{КЭ}$ от тока базы.

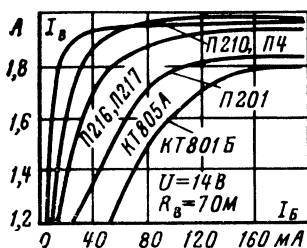


Рис. 10. Зависимости тока возбуждения от тока базы.

точное напряжение в отпертом состоянии. Однако эти требования противоречивы.

Кремниевые транзисторы КТ802, КТ803, КТ805 допускают ток 5 А, устойчиво работают при высоких температурах, но имеют большее остаточное напряжение в отпертом состоянии и меньший коэффициент передачи тока, чем германиевые транзисторы П4, П216, П217, П210.

Остаточное напряжение $U_{КЭ}$, а следовательно, и ток через обмотку возбуждения генератора I_a в значительной степени определяются током базы I_B управляющего транзистора. Зависимость $U_{КЭ}$ от I_B для различных транзисторов приведена на рис. 9, а зависимость I_a от I_B — на рис. 10. Из графиков видно, что лучшими с точки зрения минимального остаточного напряжения являются германиевые мощные транзисторы типа *p-n-p*: П4, П210, П216, П217.

Они позволяют получить максимальный ток I_b в нагрузке транзистора при заданных напряжениях генератора и сопротивлении обмотки возбуждения. При токе базы 50 мА падение напряжения $U_{кэ}$ отпертого транзистора каждого из перечисленных типов равно примерно 0,4 В, что эквивалентно наличию в цепи обмотки возбуждения дополнительного резистора сопротивлением 0,25 Ом.

Для сравнения укажем, что в электромеханическом реле-регуляторе РР24 минимальное сопротивление равно примерно 1 Ом. Это означает, что электронный регулятор будет иметь диапазон регулирования, превышающий в 4 раза диапазон регулирования электромеханического регулятора.

Кремниевые мощные транзисторы КТ805 имеют несколько большее остаточное напряжение. У транзисторов П214, П201, П203, П213 остаточное напряжение в несколько раз больше, чем у мощных транзисторов, поэтому применять их в управляющем элементе не следует.

Значение $U_{кэ}$ для всех транзисторов увеличивается с уменьшением сопротивления нагрузки. Однако основное значение для уменьшения остаточного напряжения имеет увеличение тока базы, который в свою очередь зависит от схемы включения нагрузки транзистора, напряжения сети и сопротивления резистора R_6 , соединяющего базу с источником напряжения.

Схемы включения нагрузки управляющих элементов

Нагрузкой управляющего элемента служит обмотка возбуждения генератора. Возможны две схемы включения нагрузки: в цепь коллектора (схема с общим эмиттером) и в цепь эмиттера (схема с общим коллектором). В зависимости от полярности заземленного полюса электрооборудования может быть использована только определенная схема включения нагрузки. Это обусловлено тем, что у большинства генераторов один конец обмотки возбуждения постоянно соединен с корпусом (массой) автомобиля.

Так, для автомобилей с «минусом» на массе при использовании транзисторов типа *p-n-p* нагрузка может быть включена только в цепь коллектора транзистора, а при использовании транзисторов типа *n-p-n* — только в цепь эмиттера. Для автомобилей с «плюсом» на массе, если применяются транзисторы типа *p-n-p*, нагрузка может быть включена в цепь эмиттера, при использовании транзисторов типа *n-p-n* — только в цепь коллектора (данные о проводимости транзисторов приведены в прилож. 4).

Рассмотрим свойства различных схем включения нагрузки. Схема с нагрузкой в цепи коллектора для электрооборудования с «минусом» на массе для транзистора типа *p-n-p* приведена на рис. 11,а. Транзисторы этого типа отпираются при подаче на базу отрицательного относительно эмиттера напряжения. Ток базы регулируют изменением сопротивления резистора R_6 . Кривая зависимости тока базы от сопротивления резистора R_6 для различных транзисторов приведена на рис. 11,б. Управляющий элемент для автомобилей с «плюсом» на массе, кривая зависимости тока базы от сопротивления R_6 для различных транзисторов типа *p-n-p* приведены на рис. 12.

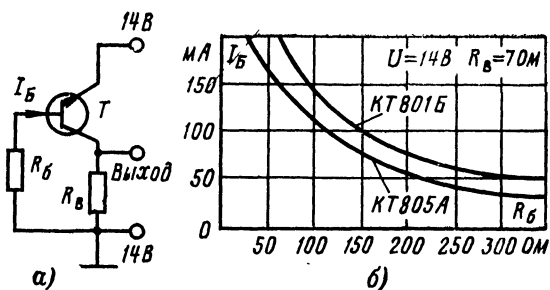


Рис. 11. Управляющий элемент на транзисторе типа *p-n-p* для генератора с «минусом» на массе.
а—схема; б—зависимости I_B от R_6 .

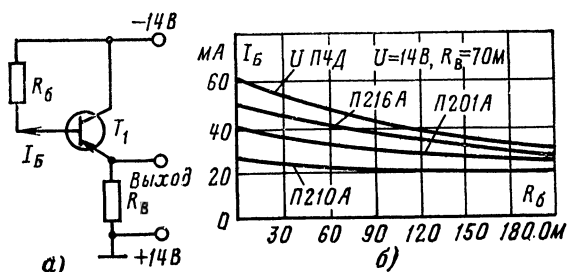


Рис. 12. Управляющий элемент на транзисторе типа *p-n-p* для генератора с «плюсом» на массе.
а—схема; б—зависимости I_B от R_6 .

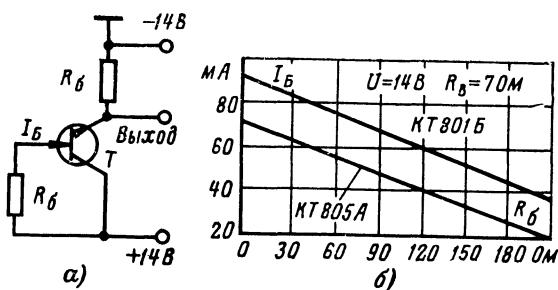


Рис. 13. Управляющий элемент на транзисторе типа *p-n-p* для генератора с «минусом» на массе.
а—схема; б—зависимости I_B от R_6 .

Управляющие элементы на транзисторах типа *n-p-n* и кривые зависимости тока базы от сопротивления в цепи базы для генераторов с «минусом» или «плюсом» на массе приведены на рис. 13 и 14.

Анализируя приведенные зависимости тока базы от схемы включения нагрузки и проводимости транзисторов, мы видим две характерные группы кривых. При уменьшении сопротивления резистора R_6 ток базы в схемах, приведенных на рис. 11 и 14, нарастает быстро и уже при $R_6=150$ Ом превышает 50 мА, чем обеспечивается хорошее отпирание транзистора.

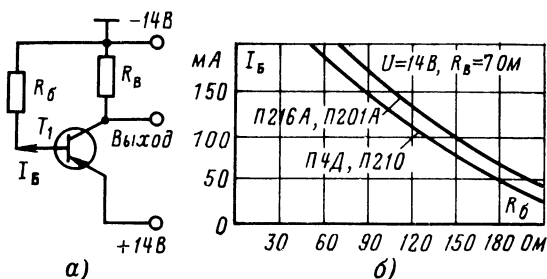


Рис. 14. Управляющий элемент на транзисторе типа *n-p-n* для генератора с «плюсом» на массе.

а — схема; б — зависимости I_B от R_6 .

Для схем, приведенных на рис. 12 и 13, ток базы нарастает очень медленно, не достигая для некоторых транзисторов значения 50 мА даже при подаче на базу всего напряжения источника питания (14 В). Это объясняется значительной разницей входных сопротивлений схем с нагрузкой в цепи коллектора или в цепи эмиттера.

Управляющие элементы с нагрузкой в цепи коллектора (см. рис. 11 и 14) имеют входное сопротивление от 10 до 100 Ом в зависимости от нагрузки и типа транзистора. Это означает, что необходимый ток базы (примерно 50 мА) может быть обеспечен при входном напряжении от 0,5 до 5 В.

Такое отпирающее напряжение легко может быть обеспечено для измерительного элемента даже при применении генератора с номинальным напряжением 6 В. Однако следует помнить, что измерительный элемент при этом должен обеспечить необходимый ток, т. е. иметь малое выходное сопротивление. Это приводит к необходимости применения в измерительном элементе транзистора средней мощности (П201, П202, П203, П214) или использования дополнительного каскада для согласования сопротивления и получения необходимого усиления по току.

Схемы с нагрузкой в цепи эмиттера (см. рис. 12 и 13) имеют большое входное сопротивление: от 200 Ом до нескольких килоом. Для того чтобы при такой схеме включения нагрузки надежно отпереть транзистор, необходимо иметь входное напряжение более 15 В.

Таким образом, для управляющих элементов 6- и 12-вольт-овых генераторов могут быть использованы схемы, приведенные на рис. 11 и 14,а, причем для генератора с заземленным «минусом» должна быть применена схема с транзистором типа *p-n-p* (см. рис. 11), для генератора с «плюсом» на массе — схема с транзистором типа *n-p-n* (см. рис. 14).

Для 24-вольтовых генераторов с «минусом» на массе могут быть применены схемы, приведенные на рис. 11 и 13, для тех же генераторов с «плюсом» на массе — схемы на рис. 12 и 14. Следует отметить, что, используя схемы с нагрузкой в цепи эмиттера, можно создать более экономичный регулирующий элемент, так как в этом случае ток базы проходит через обмотку возбуждения, т. е. практически весь ток, потребляемый регулятором напряжения, будет использоваться для возбуждения генератора.

Схемы регуляторов напряжения

Используя полученные выше данные о преимуществах и недостатках различных схем измерительных и управляющих элементов, рассмотрим возможные варианты схем регуляторов напряжения. При анализе преимуществ и недостатков схем следует учитывать следующие факторы, лежащие в основе работы регуляторов напряжения.

При превышении номинального напряжения генератора на некоторое значение, которое определяет чувствительность регулятора напряжения, ток в обмотке возбуждения прерывается. Напряжение на якоре генератора начнет уменьшаться и через некоторое время станет меньше номинального значения. Регулятор напряжения вновь должен включить ток в обмотке возбуждения, напряжение в сети начнет увеличиваться, и процесс регулирования повторится. Таким образом, напряжение генератора будет колебаться около среднего значения, равного номинальному значению напряжения сети (см. рис. 4), которое задается измерительным элементом схемы регулирования.

Размер пульсаций напряжения сети определяется чувствительностью регулятора напряжения. Чувствительность определяется в свою очередь коэффициентом усиления схемы регулятора напряжения. Пульсации напряжения не ухудшают работу аккумуляторной батареи, системы зажигания и ламп. Однако при малой частоте пульсаций, что может быть следствием большой инерционности магнитного потока генератора или низкой чувствительности регулятора напряжения, будет наблюдаться неприятное для зрения мигание ламп. (Оно может также наблюдаться при небольшой частоте вращения вала двигателя вследствие переключения реле обратного тока.) Для исключения этого явления необходимо повышать коэффициент усиления регулятора напряжения, чтобы частота пульсаций была более 25 Гц.

Таким образом, для того чтобы регулятор напряжения хорошо работал, необходимо обеспечить достаточный коэффициент усиления и определенную закономерность протекания тока через обмотку возбуждения генератора: при напряжении генератора, меньшем заданного, регулятор напряжения должен создавать условия для протекания максимального возможного тока через обмотку возбуждения. Это будет обеспечивать установление заданного на-

пряжения при меньшей частоте вращения вала двигателя. При превышении заданного напряжения в сети ток через обмотку возбуждения должен быть уменьшен или прекращен совсем.

Для того чтобы транзистор управляющего элемента был отперт, необходимо обеспечить протекание определенного тока базы. Для запираания транзистора практически достаточно уменьшить напряжение смещения между эмиттером и базой до нуля.

Рассмотрим принципиальные возможности различных схем регуляторов напряжения. На рис. 15 приведены упрощенные схемы регуляторов напряжения для генераторов с заземленным «минусом». В схеме на рис. 15,а первый каскад (измерительный элемент)

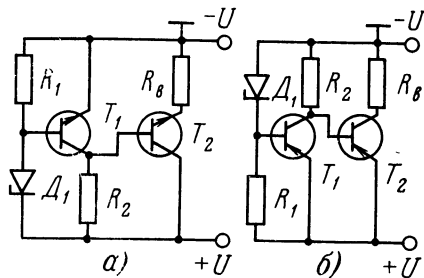


Рис. 15. Регуляторы напряжения для генератора с «минусом» на массе.

а — на транзисторах типа *p-n-p*; б — на транзисторах типа *n-p-n*.

выполнен на транзисторе типа *n-p-n* (МП101, КТ801 и др.), второй каскад (управляющий элемент) — на транзисторе того же типа проводимости (например, КТ802, КТ805). Преимущество данной схемы заключается в хорошей температурной стабильности параметров, так как оба каскада могут быть выполнены на кремниевых транзисторах, устойчиво работающих при температуре до 130°C. При напряжении сети $U_c < U_{ном}$ транзистор T_1 будет заперт, так как в этом случае напряжение эмиттер — база транзистора равно нулю. Транзистор T_2 будет отперт, поскольку обеспечено протекание тока базы через резистор R_2 . При напряжении сети больше $U_{ном}$ транзистор T_1 отперется, в результате чего произойдет уменьшение положительного напряжения на базе транзистора T_2 . Ток базы уменьшится, и транзистор T_2 заперется. Описанная схема имеет недостаток, ограничивающий область ее применения.

Дело в том, что для получения малого напряжения $U_{кэ}$ даже для транзистора КТ805 (см. рис. 9) необходимо обеспечить ток базы более 100 мА. Из графика, приведенного на рис. 13 для схемы с нагрузкой в цепи эмиттера, видно, что такой ток невозможно создать при напряжении менее 14 В даже при $R_6 = 0$. Следовательно, данная схема может быть применена только для генераторов с номинальным напряжением 24 В.

В схеме на рис. 15,б оба каскада выполнены на транзисторах типа *p-n-p*. При правильном выборе элементов схема хорошо работает при напряжении более 4 В, т. е. пригодна для регулирования напряжения всех встречающихся на практике генераторов. Однако

с температурной стабильностью параметров здесь сложнее, чем в предыдущей схеме. Промышленностью выпускаются маломощные кремниевые транзисторы МП114 — МП116. Применяв их в измерительном элементе, можно добиться необходимой точности поддержания заданного номинала напряжения регулятором. Однако ток этих транзисторов недостаточен для управления мощными транзисторами регулирующего элемента. Необходимо применение по крайней мере еще одного дополнительного каскада усиления.

При использовании в измерительном элементе германиевого транзистора необходимо принимать меры к его температурной стабилизации, например включение в цепь эмиттера транзистора резистора R_3 , а в цепь $R_1 D_1$ — компенсирующего термосопротивления R_4 типа ММТ (рис. 16).

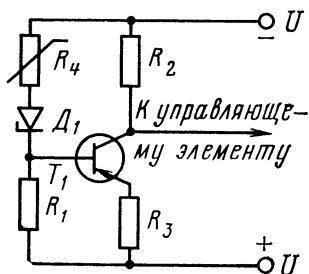


Рис. 16. Измерительный элемент с повышенной температурной стабильностью параметров.

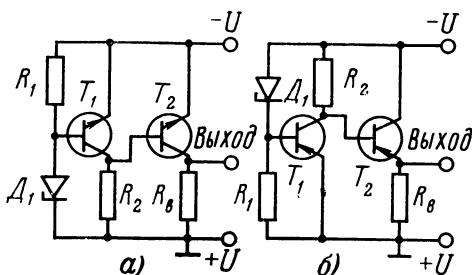


Рис. 17. Регуляторы напряжения для генератора с «плюсом» на массе.

а — на транзисторах типа *p-p-n*;
б — на транзисторах типа *p-n-p*

Для генераторов с «плюсом» на массе можно применить две схемы регуляторов напряжения (рис. 17). Схема, приведенная на рис. 17, удовлетворяет всем предъявленным выше требованиям. Оба каскада могут быть выполнены на кремниевых транзисторах и хорошо управляются (надежно отпираются и запираются). Схема может быть выполнена как на малые напряжения (5—6 В), так и на достаточно большие (150 В и выше).

Схема, приведенная на рис. 17,б, может быть выполнена на широко распространенных германиевых транзисторах. По сравнению с предыдущей схемой ее регулирующий элемент будет работать хуже, так как он имеет нагрузку в цепи эмиттера. Однако эта схема регулирующего элемента имеет и преимущества. Во-первых, ток базы транзистора T_2 проходит через обмотку возбуждения, т. е. повышается к. п. д. регулятора, а во-вторых, не требуется специального резистора для температурной стабилизации параметров каскада, так как эту функцию выполняет сопротивление обмотки возбуждения $R_{\text{в}}$ генератора. Что же касается температурной стабилизации измерительного элемента, то для нее могут быть применены все рекомендации, приведенные выше.

Представляют интерес и другие возможные пути регулирования напряжения. Остановимся кратко на двух из них. На рис. 18,а приведена схема регулятора напряжения с одним транзистором.

Принципиальные отличия этой схемы от приведенных выше следующие: совмещение измерительного и регулирующего элементов и плавный режим регулирования тока и напряжения. Кривая зависимости тока в обмотке возбуждения от напряжения сети генератора приведена рис. 18, б. В схеме должны быть применены стабилитроны Д815. Следует обратить внимание на то, что низкие показатели чувствительности и к. п. д. характерны для всех регуляторов напряжения плавного режима регулирования, так как скорость изменения регулирующего тока в этом случае ограничена инерционностью изменений магнитного потока и напряжения в сети генератора.

На рис. 19 приведена схема регулятора напряжения с параллельным включением транзистора и обмотки возбуждения генера-

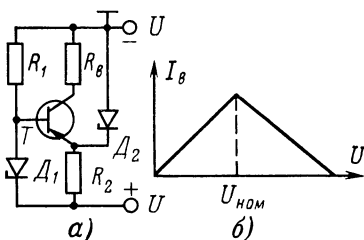


Рис. 18. Регулятор напряжения с одним транзистором.

а — схема; б — зависимость I_B от U

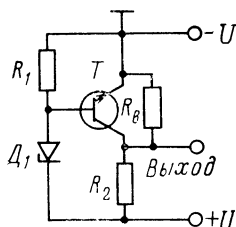


Рис. 19. Регулятор напряжения с транзистором, включенным параллельно обмотке возбуждения.

тора. Схема работает следующим образом. При $U_c < U_{ном}$ транзистор T_1 заперт и ток идет через резистор R_2 и обмотку возбуждения генератора R_B . При напряжении $U_c > U_{ном}$ транзистор открывается и происходит перераспределение тока между транзистором и обмоткой возбуждения. При этом ток в обмотке возбуждения уменьшается. Схема имеет значительные недостатки, ограничивающие ее применение: необходимость включать последовательно с обмоткой возбуждения резистор R_2 и низкий к. п. д., поскольку потребляемый ток всегда больше максимального тока возбуждения генератора.

Каскады усиления

В случае применения маломощных транзисторов в измерительном элементе или при недостаточной чувствительности регулятора напряжения появляется необходимость введения дополнительного каскада усиления. При этом в первую очередь необходимо сохранить правильное фазирование сигналов в схеме. Транзистор регулирующего элемента должен быть открыт при напряжении $U_c < U_{ном}$ и заперт при $U_c > U_{ном}$.

Следует помнить, что каскад с нагрузкой в цепи коллектора (рис. 20, а) переворачивает фазу, т. е. при введении такого каскада в регулятор напряжения транзистор регулирующего элемента будет

заперт при $U_c < U_{ном}$ и открыт при $U_c > U_{ном}$. Для сохранения правильного фазирования необходимо вводить два каскада усиления.

Каскад с нагрузкой в эмиттере сохраняет фазу неизменной, но имеет малый коэффициент усиления. Большой коэффициент усиления можно получить за счет использования схем составных транзисторов.

На рис. 20,б приведена схема такого транзистора. Его можно применить в регуляторе напряжения для генераторов с заземлен-

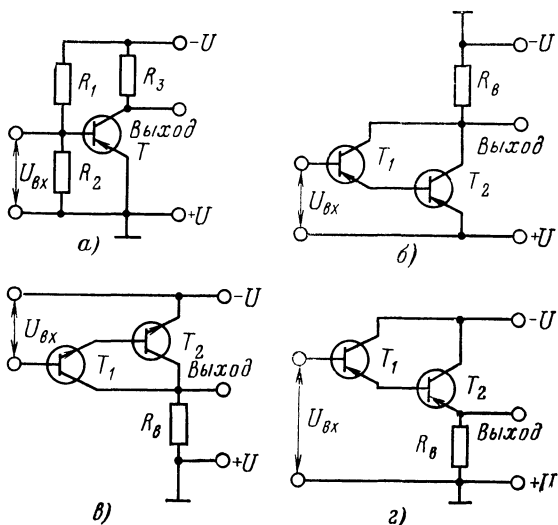


Рис. 20. Дополнительные каскады усиления.

а — с переворачиванием фазы; б — составной транзистор для генератора с «минусом» на массе; в — составной транзистор для генератора с «плюсом» на массе на транзисторах типа *n-p-n*; г — составной транзистор для генератора с «плюсом» на массе на транзисторах типа *p-n-p*.

ным «минусом». Транзистор T_1 — средней, T_2 — большой мощности (он и служит управляющим элементом регулятора напряжения).

Эта схема имеет следующие достоинства: неизменность фазы, большой коэффициент усиления по току, использование тока коллектора первого транзистора для управления генератором, простота схемы.

Для генераторов с заземленным «плюсом» могут быть использованы составные транзисторы, показанные на рис. 20,в и г. Схема на рис. 20,в пригодна для управляющего элемента с транзистором типа *n-p-n* (см. рис. 17,а), схема на рис. 20,г — для управляющего элемента с транзистором типа *p-n-p* (см. рис. 17,б). Достоинства схем примерно такие же, как схемы на рис. 20,б, однако схема на рис. 20,в переворачивает фазу.

ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

Регулятор для 12-вольтовых генераторов с «минусом» на массе

Схема электронного регулятора напряжения, ограничителя максимального тока, реле обратного тока и защиты выходного транзистора приведена на рис. 21. Регулятор может быть использован для генераторов автомобилей «Волга», «Москвич» и любых других 12-вольтовых генераторов постоянного тока с «минусом» на массе.

Регулятор напряжения выполнен на трех транзисторах (T_1 — T_3). Измерительный элемент состоит из делителя напряжения

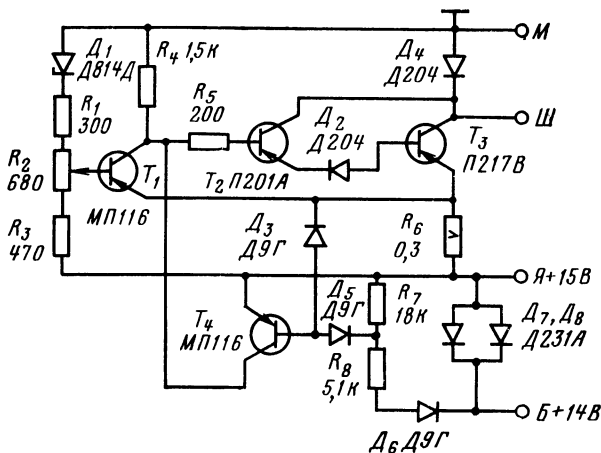


Рис. 21. Регулятор для 12-вольтового генератора с «минусом» на массе.

(резисторы R_1 — R_3 , стабилитрон D_1) и транзистора Γ_1 и представляет собой мостовую спусковую схему. При увеличении напряжения генератора напряжение на коллекторе транзистора T_1 по отношению к эмиттеру увеличивается до определенного момента (рис. 22), после чего происходит отпирание транзистора и уменьшение напряжения на участке коллектор—эмиттер $U_{КЭ}$ практически до нуля. При уменьшении напряжения генератора происходит обратный процесс—запирание транзистора. Рабочий участок AB характеристики измерительного элемента имеет очень высокую крутизну—около 30 В/В и значительный перепад напряжений, равный 8—12 В. Напряжение перехода транзистора из закрытого состояния в открытое и обратно определяется моментом пробоя стабилитрона D_1 . Напряжение сети $U_{ном}$, при котором пробивается стабилитрон, зависит от напряжения его пробоя и сопротивлений резисторов R_1 — R_3 . Переменный резистор R_2 позволяет плавно изменять напряжение в сети генератора от 13 до 16 В.

Применение кремниевого стабилитрона Д814Д и кремниевого транзистора МП116 обеспечивает хорошую температурную стабильность регулятора напряжения. Кроме того, частичная температурная компенсация обеспечивается резисторами R_1 и R_2 .

Регулирующим элементом в данной схеме служит составной транзистор T_2 , T_3 , позволяющий получить необходимое изменение тока в обмотке возбуждения генератора. Применение составного транзистора позволяет получить большой коэффициент передачи тока, благодаря чему можно применить маломощный транзистор в измерительном элементе. Кроме того, большой коэффициент передачи тока необходим для получения высокой чувствительности

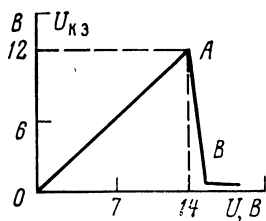


Рис. 22. Характеристика измерительного элемента регулятора.

регулятора напряжения, при которой обеспечивается надежное отпирание и запираание транзистора T_3 при минимальных изменениях напряжения генератора. Транзистор T_3 выбирают с учетом максимального тока в обмотке возбуждения генератора. Максимальный ток наблюдается при наибольшей нагрузке (включены все потребители электроэнергии) и малой частоте вращения якоря генератора. Для нормальных режимов работы генераторов легковых автомобилей он имеет значения от 1,5 до 3 А. Минимальный ток в обмотке возбуждения протекает при минимальной нагрузке и больших оборотах якоря генератора и составляет 0,3—0,5 А. Таким образом, минимальный необходимый диапазон регулирования, требующийся от регулятора напряжения, равен 0,3—3 А. Однако чем больший диапазон может быть обеспечен регулятором, тем лучше будут использованы возможности генератора по поддержанию номинального напряжения в сети и тем выше к. п. д. регулятора.

Пределы регулирования тока регулятором в реальной схеме составляют 0,005—3,3 А при напряжении $U_c=14$ В и сопротивлении обмотки возбуждения $R_b=3,5$ Ом и 0,005—1,8 А при $R_b=7,0$ Ом.

Регулятор напряжения работает в импульсном режиме. Этот режим позволяет получить высокий к. п. д. регулятора в целом, большую надежность его работы и малый нагрев транзистора T_3 . Процесс регулирования напряжения происходит следующим образом. При малой частоте вращения якоря генератора и напряжении в сети ниже номинального с коллектора транзистора T_1 на базу транзистора T_2 подается отрицательное напряжение, которое отпирает транзисторы T_2 и T_3 . В цепи обмотки возбуждения проходит максимальный ток, определяемый напряжением на обмотке якоря генератора и суммой сопротивлений обмотки возбуждения и отпертого транзистора. Сопротивление отпертого транзистора равно примерно 1 Ом (вместе с резистором R_6), поэтому уже при частоте вращения якоря 800—1200 об/мин достигается напряжение 13,5—15 В. Номинальное напряжение в сети (на зажиме Б регулятора) выбирают в соответствии с табл. 1 и устанавливают переменным резистором R_2 .

По достижении требуемого напряжения происходит пробой стабилитрона D_1 , отрицательное напряжение подается на базу тран-

зистора T_1 , и он отпирается. Напряжение на участке коллектор — эмиттер резко падает почти до нуля, что приводит к запираанию транзисторов T_2 и T_3 . Ток через транзистор T_3 скачком уменьшается до начального, что сопровождается уменьшением магнитного потока возбуждения и уменьшением напряжения на обмотке якоря генератора. Снижение напряжения на 0,2—0,3 В достаточно для срабатывания измерительной схемы и переключения транзисторов T_2 , T_3 в открытое состояние. Ток в обмотке возбуждения в результате этого возрастает до максимального, что приведет к увеличению магнитного потока возбуждения и напряжения генератора. В дальнейшем цикл управления повторяется. Таким образом, мощный управляющий транзистор T_3 работает в ключевом режиме, скачкообразно переходя из открытого состояния в закрытое и обратно.

Следует помнить, что в момент переключения транзистора на нем рассеивается наибольшая мощность. Однако из-за малой длительности переключения (она составляет десятки микросекунд) рассеиваемая на транзисторе мощность мала (примерно 1 Вт), поэтому при работе регулятора транзистор не нагревается и может быть установлен без теплоотвода.

В режиме переключения тока возбуждения возможны резкие выбросы напряжения на участке эмиттер — коллектор транзистора T_3 . Обмотка возбуждения генератора имеет значительное индуктивное сопротивление, и при резком уменьшении тока в ней наводится большая э. д. с. самоиндукции. Она может оказаться причиной большого избыточного напряжения между электродами транзистора, которое может привести к выходу его из строя. Кроме того, эта э. д. с. создает выбросы напряжения и на якоре генератора, что тоже нежелательно.

Поэтому приходится принимать специальные меры для предотвращения этих явлений. Простейший способ — шунтирование обмотки возбуждения диодом D_4 . Если транзистор T_3 находится в открытом состоянии, то диод заперт, а ток возбуждения равен коллекторному току. При резком переходе транзистора в закрытое состояние диод образует цепь для протекания тока возбуждения, который вследствие индуктивного характера обмотки не может измениться скачкообразно. Форма кривой изменения тока возбуждения в этом случае не повторяет форму кривой коллекторного тока — ток возбуждения уменьшается значительно медленнее. Резкого выброса напряжения при этом не происходит.

Шунтирование обмотки возбуждения диодом имеет еще одну положительную сторону. Если электронный регулятор напряжения имеет высокую чувствительность и малую инерционность, то он успевает переключиться из закрытого состояния в открытое еще до того, как ток возбуждения уменьшится до нуля. В результате этого среднее значение тока возбуждения будет превышать среднее значение тока через транзистор, а пульсации напряжения на якоре генератора значительно уменьшатся. На рис. 23 приведены осциллограммы напряжения и тока возбуждения, а также напряжения на якоре генератора в период возбуждения генератора (участок $t_0 t_1$) и при нормальной работе регулятора напряжения (участок $t_1 t_2$).

Амплитуда пульсаций в основном определяется чувствительностью регулятора напряжения и индуктивностью обмоток генератора. Частота пульсаций и частота включений и выключений тока че-

рез коллектор транзистора T_3 зависят от чувствительности регулятора, электрической нагрузки и частоты вращения якоря генератора. Чем меньше частота вращения якоря генератора и чем больше нагрузка, тем медленнее нарастает и быстрее уменьшается напряжение на якоре генератора после открывания и закрывания транзистора T_3 . Для данного регулятора частота пульсаций изменяется в пределах от 50 до 2000 Гц.

Положительное влияние на надежное запирающее транзистора T_3 регулирующего каскада при повышении температуры окружающей среды оказывает резистор R_6 .

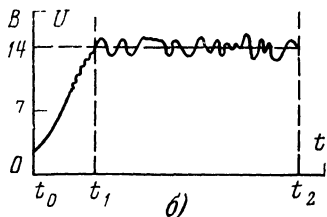
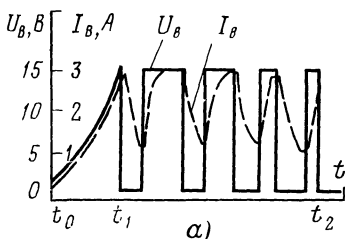


Рис. 23. Осциллограммы работы регулятора напряжения.

а — изменение напряжения и тока возбуждения; б — изменение напряжения на якоре генератора.

Он включен в цепь эмиттеров транзисторов T_1 и T_3 и осуществляет температурную стабилизацию режимов этих транзисторов. Благодаря этому регулятор напряжения устойчиво работает до температуры $+65^\circ\text{C}$.

Кроме того, резистор R_6 обеспечивает обратную связь по току возбуждения при изменении нагрузки, чем достигается компенсация изменения напряжения на нагрузке. При увеличении тока нагрузки от 5 до 20 А падение напряжения на кремниевых диодах D_7 , D_8 (реле обратного тока) увеличивается на 0,4—0,5 В. Следовательно, для получения постоянного напряжения на нагрузке необходимо повышать напряжение на якоре генератора при увеличении тока нагрузки.

Кремниевый диод D_2 ограничивает обратный ток базы транзистора T_3 и обеспечивает лучшее запирающее и температурную стабилизацию регулирующего каскада.

Реле обратного тока служит для автоматического замыкания электрической цепи между генератором и аккумуляторной батареей, когда напряжение генератора больше напряжения батареи, и для размыкания цепи, когда напряжение генератора ниже напряжения батареи (предупреждает ее разряд через генератор). В качестве реле обратного тока применены силовые кремниевые диоды D_7 , D_8 (Д231), соединенные параллельно. Желателен подбор диодов по значению падения напряжения при максимальном токе. Необходимо принять меры для отвода тепла, так как при максимальном токе на диодах рассеивается мощность 20—30 Вт.

Ограничитель максимального тока. Для предупреждения перегрева и последующего разрушения изоляции обмотки якоря и обмотки возбуждения генератора необходимо ограничивать максимальный ток, отдаваемый генератором. Ограничитель максимального тока выполнен на транзисторе T_4 (см. рис. 21) и работает следующим образом. Напряжение, падающее на диодах D_7 , D_8 , поступает через диод D_6 на делитель R_7R_8 и через диод D_5 на базу транзи-

стора T_4 . При токе нагрузки 18—20 А падение напряжения достигает 1,2—1,5 В и транзистор T_4 отпирается. Коллектор этого транзистора соединен с коллектором транзистора T_1 , и независимо от состояния последнего транзисторы T_2 и T_3 заперутся и ток в обмотке возбуждения прекратится. Напряжение и ток нагрузки уменьшатся. Когда падение напряжения на диодах D_7 , D_8 уменьшится настолько, что транзистор T_4 заперется, через обмотку возбуждения генератора снова пойдет ток. Если нагрузка не уменьшилась и ток после этого вновь достигнет максимума, ограничитель сработает вторично.

Таким образом, ограничитель максимального тока поддерживает ток, протекающий через нагрузку, на заданном уровне. В зависимости от параметров делителя R_7R_8 этот уровень можно установить от 5 до 25 А.

Характеристика ограничителя максимального тока приведена на рис. 24. Эти снятые экспериментально кривые зависимости тока через нагрузку от сопротивления нагрузки подтверждают высокую эффективность работы ограничителя. В частности, при коротком замыкании ($R_4 \approx 0$) ток через нагрузку прекратится полностью, т. е. данный ограничитель позволяет устранить указанный ранее недостаток электромеханических ограничителей максимального тока.

Если реле обратного тока выполнено на германиевых диодах, то падение напряжения на этих диодах (0,3—0,5 В) будет недостаточно для срабатывания ограничителя тока. Для увеличения падения напряжения до минимально необходимого (0,7—0,8 В) можно включить небольшой проволочный резистор последовательно с диодами D_7 , D_8 . Однако более целесообразно использовать дополнительное падение напряжения на проводах, по которым проходит ток нагрузки. Для этого ограничитель тока нужно подсоединить к зажиму $Я$ самого генератора и к зажиму «плюс» аккумуляторной батареи.

Устройство защиты выходного транзистора предназначено для предотвращения выхода из строя транзистора T_3 при коротком замыкании обмотки возбуждения или проводов, соединяющих ее с регулятором напряжения (зажимы $Ш$), на корпус автомобиля. Для этого напряжение с резистора R_6 подается через диод D_3 на транзистор T_4 . При увеличении тока через транзистор T_3 увеличивается падение напряжения на резисторе R_6 . Как только падение напряжения достигнет 0,8 В, транзистор T_4 отпирается, а выходной транзистор T_3 заперется. Ток через транзистор T_3 прекратится, падение напряжения на резисторе R_6 станет меньше, транзистор T_4 заперется, а ток через транзистор T_3 начнет увеличиваться. В результате работы схемы защиты через транзистор будет проходить ток, не превышающий максимального допустимого для данного транзистора (7,5 А).

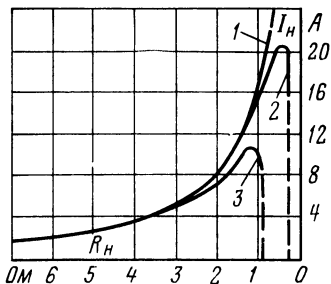


Рис. 24. Характеристика ограничителя максимального тока. 1 — без ограничителя; 2 — $I_{огр} = 10$ А; 3 — $I_{огр} = 20$ А.

Максимальный ток ограничивается резистором R_6 . Выбор сопротивления резистора R_6 определяется следующими факторами.

Во-первых, этот резистор выполняет температурную стабилизацию режима мощного выходного транзистора T_3 . При этом чем больше сопротивление резистора, тем лучше стабилизация.

Во-вторых, резистор обеспечивает падение напряжения, необходимое для срабатывания устройства защиты (транзистора T_4). В этом случае сопротивление резистора должно быть таким, чтобы при максимальном допустимом токе через коллектор транзистора T_3 (см. прилож. 4) падение напряжения на резисторе было не менее 0,8 В. С другой стороны, желательно, чтобы при максимальном токе возбуждения генератора (см. прилож. 3) падение напряжения было меньше 0,8 В.

В-третьих, этот резистор используется в качестве обратной связи для компенсации уменьшения выходного напряжения при повышении тока нагрузки. Из вольт-амперных характеристик диодов, используемых для реле обратного тока (см. рис. 2), видно, что с увеличением тока падение напряжения на диодах увеличивается. Так как регулятор поддерживает постоянный уровень напряжения на якоре генератора, то напряжение на нагрузке будет изменяться в зависимости от падения напряжения на диодах реле обратного тока. Для компенсации этого изменения используется резистор R_6 . С этой целью измерительный элемент регулятора напряжения включают так, чтобы напряжение на якоре генератора было выше на значение падения напряжения на резисторе R_6 . Поскольку при увеличении тока нагрузки, как правило, увеличивается ток возбуждения, то при этом будет увеличиваться и падение напряжения на резисторе R_6 . Задача сводится к правильному выбору сопротивления резистора для данного типа генератора и диодов реле обратного тока.

Пусть реле обратного тока выполнено на диодах Д231. Из графиков на рис. 2 находим, что при минимальном токе нагрузки 1,5 А (на каждый диод) падение напряжения составит 0,85 В, а при токе 9 А—1,3 В. Разница равна 0,45 В. Ее необходимо компенсировать изменением тока возбуждения. Для генераторов с сопротивлением обмотки возбуждения примерно 7 Ом (автомобили «Волга», «Победа», «Москвич-402», «Москвич-403», «Москвич-407») максимальный ток возбуждения составляет 1,7 А. Если взять минимальный ток возбуждения равным 0,5 А, то можно считать, что при изменении тока нагрузки от 3 до 18 А ток возбуждения генератора будет изменяться от 0,5 до 1,7 А, т. е. на 1,2 А. Это означает, что сопротивление резистора должно быть равно 0,375 Ом. Для генераторов с большим током возбуждения сопротивление резистора R_6 выбирается около 0,3 Ом.

Электронный регулятор напряжения может быть конструктивно выполнен в корпусе любого стандартного регулятора. Его схема разработана так, чтобы в электрическом отношении полностью заменить электромеханический реле-регулятор. При этом отсоединяют все провода от реле-регулятора, установленного на автомобиле, и подключают их к одноименным зажимам *Б*, *Я* и *Ш* электронного регулятора. Напряжение +14 В должно подаваться на регулятор от аккумуляторной батареи через замок зажигания автомобиля. С этой целью, если не предусмотрено такое подключение схемой электрооборудования автомобиля, делается дополнительный вывод ВЗ (см. рис. 21), который соединяется с любой точкой схемы, на

которую подается напряжение через замок зажигания автомобиля, например с одним из зажимов блока предохранителей. Если отключение клеммы *Б* регулятора от аккумуляторной батареи предусмотрено, то выводы *Б* и *ВЗ* объединяются.

Результаты испытаний. Данный регулятор испытывался в течение нескольких лет на различных автомобилях и показал хорошие результаты. Сравнительные испытания электронного регулятора и стандартного реле-регулятора РР24Г проводились на автомобиле «Москвич-408». Они показали, что электронный регулятор во всех режимах имеет лучшие показатели. При изменении нагрузки в нормальных условиях ($T=40^{\circ}\text{C}$) напряжение, поддерживаемое регулятором РР24Г, изменяется на 0,7 В, электронным — на 0,3 В. При изменении частоты вращения вала двигателя у РР24Г напряжение изменялось при всех изменениях электрической нагрузки, у электронного — только при включении дальнего света фар. При изменениях температуры от 18 до 40°C максимальное изменение напряжения при механическом регуляторе составляло 0,5 В, при электронном — всего 0,1 В.

Обычно автолюбители считают, что реле-регулятор работает нормально, если после работы стартера или в начале поездки наблюдается подзарядка аккумулятора, и на протяжении нескольких лет не проверяют работу реле-регулятора. Выше было показано, что этого недостаточно. Необходимо, чтобы, во-первых, регулятор напряжения поддерживал определенное оптимальное напряжение, а во-вторых, чтобы это напряжение мало изменялось при изменении частоты вращения вала двигателя, включении фар и т. п. Проверка стандартных регуляторов напряжения показала, что 40% реле-регуляторов работает неудовлетворительно.

Проверка работы регулятора напряжения достаточно проста. Вольтметр постоянного тока с точностью отсчета не хуже 0,2 В подсоединяют к аккумуляторной батарее. Затем измеряют напряжение при изменении частоты вращения двигателя, а также включении ближнего и дальнего света фар. Если напряжение отличается от оптимального (см. табл. 1) не более чем на 0,5 В, то регулятор работает нормально. Опыт лучших водителей показывает¹, что такую проверку надо делать каждые 4—6 тыс. км пробега автомобиля, а оптимальное напряжение устанавливать в зависимости от условий эксплуатации. Проверку напряжения следует делать после прогрева двигателя и подкапотного пространства.

Модифицированные варианты регулятора для 12-вольтовых генераторов постоянного тока с «минусом» на массе

В рассмотренную выше схему можно ввести ряд изменений, улучшающих температурную стойкость и диапазон регулирования.

Схема с повышенным диапазоном регулирования. Если питание регулятора и обмотки возбуждения генератора осуществляется от общей сети, как это обычно и делается, то максимальный ток возбуждения (при постоянном сопротивлении цепи возбуждения) бу-

¹ Е. В. Зеленчук, Л. М. Зельдес, М. В. Корогодский. Увеличение срока службы аккумуляторных батарей. Киев, Государственное издательство технической литературы 1953.

дет определяться максимальным напряжением сети, которое примерно на 1 В меньше напряжения на якоре генератора. При питании регулятора от зажима $+Я$ максимальный ток возбуждения и диапазон регулирования возрастут на 7%, что улучшит работу генератора на малых и средних частотах вращения, а также при предельной нагрузке. Возбуждение генератора в период запуска двигателя будет осуществляться за счет остаточной э. д. с. самоиндукции. Эта э. д. с. составляет около 2 В, следовательно, ток возбуждения в первоначальный период будет меньше, чем при работе от аккумуляторной батареи. При увеличении частоты враще-

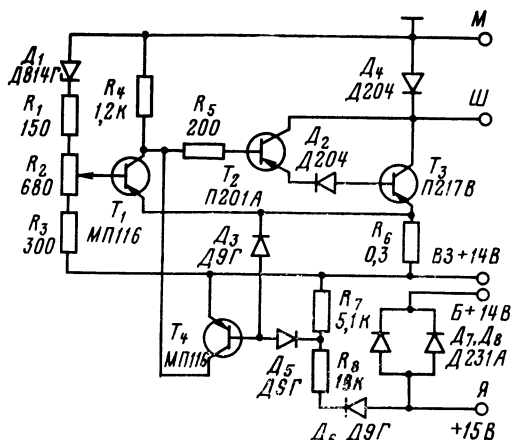


Рис. 25. Принципиальная схема регулятора напряжения с повышенным диапазоном регулирования.

ния вала генератора напряжение на якоре быстро возрастает и при 500—800 об/мин превышает напряжение аккумуляторной батареи. В остальных режимах генератор с данной схемой регулятора напряжения работает лучше.

Принципиальная схема регулятора приведена на рис. 25. В схеме изменено подключение регулятора к зажиму Я вместо ВЗ, в результате чего питание схемы регулятора и обмотки возбуждения осуществляется напряжением на якоре генератора. Изменены направление подключения диодов Д6, Д7, Д8 и сопротивления резисторов R1, R3, R4. Подключать регулятор через замок зажигания в этой схеме не обязательно. Максимальный ток возбуждения возрастет с 3,3 до 3,55 А при сопротивлении обмотки возбуждения генератора $R_b=3,5$ Ом и с 1,8 до 1,95 А при $R_b=7,0$ Ом. Так как минимальный ток при запертых транзисторах остался прежним (0,005 А), то пропорционально максимальному току возбуждения увеличится и диапазон регулирования.

Схема с улучшенной температурной стойкостью. Германиевые транзисторы, использованные в регулирующем элементе регулятора напряжения, наиболее доступны радиолюбителям, однако у всех германиевых транзисторов наблюдается резкое увеличение обрат-

ного (неуправляемого) тока коллектора при повышении температуры корпуса выше 55—60°C. Поэтому, если регулятор не обдувается вентилятором или автомобиль эксплуатируется при повышенной окружающей температуре, возможен выход регулятора из строя из-за увеличения неуправляемого тока и перегрева транзисторов. В этом случае транзисторы T_2 и T_3 (см. рис. 21) будут все время открыты, напряжение генератора возрастет, амперметр на щитке приборов будет показывать повышенный зарядный ток. Для исключения этого явления следует подбирать транзисторы T_2 и T_3 по минимальному значению неуправляемого тока. Для этого необхо-

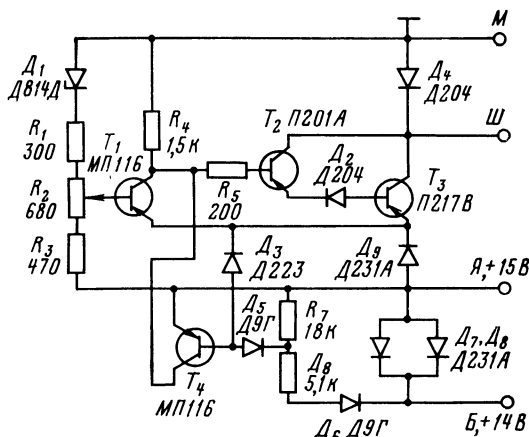


Рис. 26. Принципиальная схема регулятора напряжения с улучшенной стойкостью к повышенным температурам.

димо нагреть регулятор до 50—60°C и измерить ток, протекающий в обмотке возбуждения при запертых транзисторах T_2 и T_3 . Для того чтобы запереть транзисторы, надо соединить общую точку коллектора T_1 и резистора R_5 с зажимом Б при неработающем двигателе, но включенном зажигании. Амперметр, включенный в цепь обмотки возбуждения, должен показывать не более 100 мА.

Хорошей дополнительной мерой является замена резистора R_6 кремниевым диодом. В этом случае диод не пропускает обратного неуправляемого тока эмиттера транзистора T_3 , что улучшает его работу при повышенной температуре. Принципиальная схема такого регулятора приведена на рис. 26. Диод должен пропускать максимальный ток возбуждения не более 3,6 А, поэтому может быть использован любой диод, рекомендованный для реле обратного тока (см. прилож. 1). Диод D_3 типа Д9Г в цепи ограничителя максимального тока целесообразно заменить любым кремниевым диодом например Д223.

Схема на двух кремниевых транзисторах. Мощные кремниевые транзисторы работают при температуре окружающей среды до 100°C, в то время как германиевые — только до 70°C. Поэтому дальнейшее улучшение стойкости регуляторов напряжения к воздействию высоких температур может вестись по пути использования

кремниевых транзисторов. К недостаткам кремниевых транзисторов следует отнести меньший коэффициент усиления, чем у германиевых транзисторов. Тот факт, что промышленность в настоящее время выпускает мощные кремниевые транзисторы только типа *n-p-n* существенно затрудняет их применение в регуляторах напряжения для генераторов, у которых обмотка возбуждения соединена с корпусом.

Как было показано ранее, при таком соединении обмотки возбуждения она должна включаться в цепь эмиттера (см. рис. 13,а). При этом если даже на базу транзистора (например типа КТ805) подать полное значение напряжения источника питания $U=14$ В, то обеспечить ток базы более 70 мА при $R_b=7$ Ом не удастся (см. рис. 13,б). Это означает, что падение напряжения между коллектором и эмиттером $U_{КЭ}$ будет не менее 1 В (см. рис. 9), что вызовет ограничение максимального тока возбуждения.

Автору удалось найти способ, позволяющий уменьшить падение напряжения между коллектором и эмиттером в отпертом состоянии. Идея заключается в создании схемы, в которой на базу транзистора подается большее напряжение, чем на коллектор. Действительно (рис. 27), достаточно превышения U_B над U_K на 0,5 В, чтобы получить $U_{КЭ} < 0,5$ В. В реальной схеме сопротивление резистора в цепи базы R_b не равно нулю, поэтому превышение напряжения источников питания должно быть увеличено на значение падения напряжения на этом резисторе.

Превышение напряжения на базе по сравнению с напряжением на коллекторе транзистора можно получить за счет разницы паде-

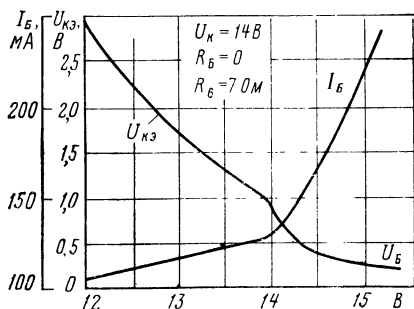


Рис. 27. Зависимости $U_{КЭ}$ и I_B для схемы рис. 13,а от напряжения на базе U_B .

ний напряжения на кремниевых и германиевых диодах. В качестве реле обратного тока в большинстве случаев используются кремниевые диоды. Если параллельно диодам реле обратного тока, от которых подается питание на коллектор выходного транзистора регулятора напряжения, включить германиевый диод и подать через него напряжение на базу, то будет получено необходимое превышение примерно на 0,7—0,9 В. Это превышение может быть увеличено включением в цепь коллектора резистора сопротивлением 0,1—0,3 Ом. Измерительный элемент может под-

ключаться как к коллекторному, так и к базовому источникам напряжения, при этом регулируемое напряжение будет изменяться на разницу этих напряжений, что может быть использовано для изменения напряжения сети.

Принципиальная схема регулятора напряжения на двух кремниевых транзисторах приведена на рис. 28. Измерительный элемент

выполнен на стабилитроне D_1 типа Д815Д и транзисторе T_1 типа КТ802А. Последовательно со стабилитроном D_1 включен обычный кремниевый диод D_2 типа КД202, служащий для увеличения напряжения регулирования до номинального значения $U_{ном}=14$ В. Регулирующий элемент выполнен на транзисторе T_2 типа КТ805А. В цепь эмиттера этого транзистора включена обмотка возбуждения генератора (зажим Ш). Питание на коллектор транзистора T_2 и на измерительный элемент подается через кремниевые диоды D_4 и D_5 (зажим Б, +14 В). Напряжение на базу транзистора T_2 и коллектор транзистора T_1 подается через германиевый диод D_3 и

Рис. 28. Принципиальная схема регулятора напряжения на двух кремниевых транзисторах для 12-вольтового генератора постоянного тока с заземленным «минусом».

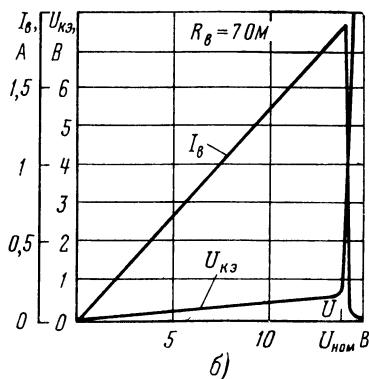
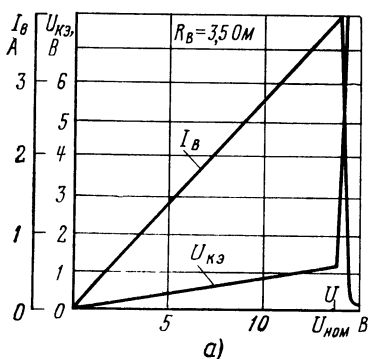
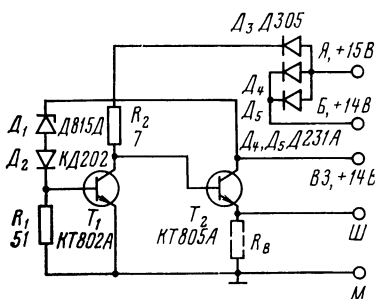


Рис. 29. Зависимость $U_{кэ}$ и I_b от U для: а — $R_b=3,5$ Ом; б — $R_b=7$ Ом.

резистор R_2 . Разница напряжений на анодах германиевого и кремниевых диодов составляет 0,7 В.

Зависимости падения напряжения между коллектором и эмиттером $U_{кэ}$ регулирующего транзистора T_2 и тока возбуждения I_b от напряжения на зажиме Б для генераторов с разными сопротивлениями обмоток возбуждения приведены на рис. 29.

Из графиков видно, что при увеличении напряжения до номинального значения $U_{\text{ном}}$ ток возбуждения возрастает до 3,7 А, при этом падение напряжения $U_{\text{КЭ}}$ не превышает 1,2 В при $R_b = 3,5$ Ом. При $R_b = 7$ Ом $U_{\text{КЭ}} = 0,6$ В, а максимальный ток возбуждения $I_b = 1,9$ А. При $U > U_{\text{ном}}$ транзистор T_2 закрывается, ток возбуждения резко уменьшается до 0,05 А.

Схема на двух кремниевых транзисторах имеет меньший коэффициент усиления, чем схема на трех германиевых транзисторах (см. рис. 21). Поэтому транзистор T_2 запирается и отпирается недостаточно резко, и при малой инерционности цепи возбуждения регулятор работает в плавном режиме. Это уменьшает пульсации напряжения в сети автомобиля, но приводит к выделению большей мощности на управляющем транзисторе T_2 . Однако испытания показали, что нагрев этого транзистора незначительный и он может устанавливаться без теплоотвода. Не требуется также в этом случае включения диода, шунтирующего обмотку возбуждения.

Резисторы R_1 и R_2 — типа МУН-2, причем для повышения рассеиваемой мощности сопротивление резистора R_2 образуется последовательным включением двух резисторов по 3,5 Ом или параллельным включением двух резисторов по 13,9 Ом. Проволочный резистор R_b включается вместо обмотки возбуждения только на время проверки схемы и измерения ее параметров.

В качестве германиевого диода D_3 может быть использован переход коллектор — база или эмиттер — база любого мощного транзистора: П4, П214, П216, П217.

Регуляторы для 24-вольтовых генераторов с «минусом» на массе

Любая из приведенных выше схем регуляторов для 12-вольтовых генераторов постоянного тока может быть использована для 24-вольтовых генераторов. Изменения сводятся к замене стабилизатора для получения более высокого напряжения стабилизации, увеличению сопротивления резисторов, замене некоторых транзисторов. Рассмотрим для примера изменения, которые необходимо сделать в схеме регулятора, приведенного на рис. 21, для перевода на напряжение 24 В.

Стабилитрон Д814Д необходимо заменить двумя включенными последовательно стабилитронами Д814Г (или комбинацией Д814Г и Д814Д). Резистор R_1 может быть исключен, а сопротивление резистора R_3 увеличено на 1 кОм. В качестве транзисторов T_1 и T_4 желательно использовать транзисторы типов МП105 или МП115, имеющие более высокое допустимое напряжение на коллекторе. Сопротивление резистора R_4 должно быть увеличено до 2,5 кОм, а резистора R_6 — до 0,6 Ом (или заменено силовым диодом, как в схеме, приведенной на рис. 26).

Регуляторы для 12-вольтовых генераторов переменного тока с «минусом» на массе

Генераторы переменного тока позволяют получить большую мощность при тех же габаритах и массе, что и генераторы постоянного тока, и в то же время они проще по конструкции, более

надежны в эксплуатации. Эти генераторы отдают до 30% номинальной мощности при работе двигателя при малой частоте вращения, что увеличивает срок службы аккумуляторных батарей. Поэтому генераторы переменного тока с электромагнитным возбуждением устанавливают на всех новых легковых автомобилях, в частности на автомобилях «Москвич-412», «Москвич-2140», «Жигули», ЗАЗ-966В». Обмотка возбуждения генераторов этих автомобилей питается постоянным током от аккумуляторной батареи или выпрямителя.

Переменный ток генератора выпрямляется полупроводниковыми кремниевыми диодами. Эти диоды одновременно используются

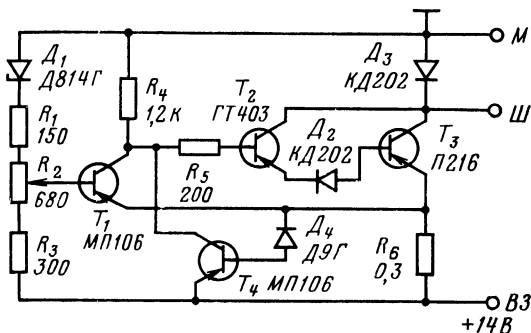


Рис. 30. Схема регулятора напряжения для 12-вольтового генератора переменного тока с «минусом» на массе.

в качестве реле обратного тока. Любая из схем регуляторов напряжения для генераторов постоянного тока может быть применена и для генераторов переменного тока. Из схемы исключается реле обратного тока и ограничитель максимального тока (генераторы переменного тока допускают значительную перегрузку), изменяются сопротивления некоторых резисторов. Рассмотрим некоторые из возможных схем.

На рис. 30 представлена схема регулятора, выполненная на основе схемы для генераторов постоянного тока, приведенной на рис. 21. Принцип работы, назначение элементов идентичны у обеих схем. Как вариант возможной замены транзисторов и диодов в схеме на рис. 30 показаны другие типы этих элементов. Диапазон регулирования регулятора 0,005—3,3 А при сопротивлении обмотки возбуждения $R_b=3,5$ Ом и 0,005—1,8 А при $R_b=7$ Ом.

Устройство защиты выходного транзистора от перегрузок при коротком замыкании зажима Ш на корпус выполнено на транзисторе T_4 . Сопротивление резистора R_5 выбрано таким, чтобы при максимальном токе возбуждения для данного генератора (этот ток проходит от зажима ВЗ через резистор R_5 и транзистор T_3 к зажиму Ш и через обмотку возбуждения на корпус) на резисторе падало напряжение до 0,7—0,8 В. При этом значении напряжения транзистор T_4 отпирается и запирает транзистор T_3 . Этим достигается ограничение максимального тока возбуждения и частично максимального тока нагрузки.

На рис. 31 приведена схема регулятора с улучшенной стойкостью к повышенным температурам, составленная на основе схемы, приведенной на рис. 26. В связи с тем, что питание регулятора данной схемы производится от напряжения $+14\text{ В}$ (зажим ВЗ), уменьшены сопротивления некоторых резисторов. Диапазон регулирования регулятора напряжения $0,005\text{—}3,3\text{ А}$ при сопротивлении обмотки возбуждения $R_a=3,5\text{ Ом}$ и $0,005\text{—}1,7\text{ А}$ при $R_a=7,0\text{ Ом}$.

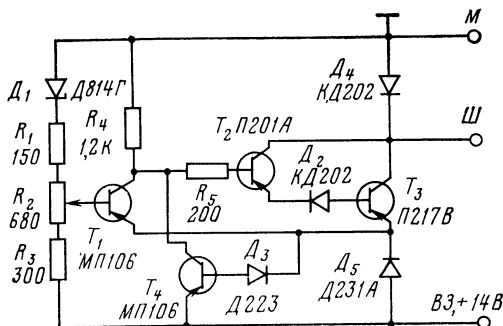


Рис. 31. Схема регулятора напряжения для 12-вольтового генератора переменного тока с улучшенной стойкостью к повышенным температурам.

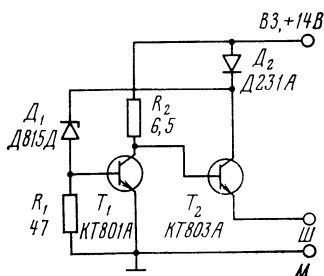


Рис. 32. Схема регулятора напряжения для 12-вольтового генератора переменного тока на кремниевых транзисторах.

Регулятор напряжения, рассчитанный на работу при высоких рабочих температурах, должен выполняться только на кремниевых транзисторах. Схема такого регулятора приведена на рис. 32. Здесь использованы кремниевые транзисторы типа $n-p-n$ КТ801 и КТ803. Обмотка возбуждения включена в цепь эмиттера транзистора T_2 , поэтому весь ток, протекающий через транзистор, проходит через обмотку возбуждения. В рассмотренных выше схемах на германиевых транзисторах в регулирующем элементе обмотка возбуждения включалась в цепь коллектора, при этом через нее протекал ток коллектора, меньший тока эмиттера на значение тока базы. Ток базы в данной схеме у открытого транзистора составляет $0,2\text{ А}$, поэтому данная схема имеет при прочих равных условиях больший коэффициент регулирования.

Необходимая для хорошего открытия транзистора T_2 разность напряжений 0,7—0,9 В между базой и коллектором создается включением кремниевого диода D_2 в цепь коллектора.

Резисторы R_1 и R_2 типа МУН допускают мощность 2 Вт. Для увеличения допустимой мощности сопротивление R_2 образуют последовательным включением двух резисторов по 3,3 Ом или параллельным включением двух резисторов по 13 Ом.

Диапазон регулирования тока возбуждения этим регулятором составляет 0,05—3,6 А при сопротивлении обмотки возбуждения генератора $R_B=3,5$ Ом и 0,05—1,8 А при $R_B=7$ Ом.

Таблица 2

Обозначения выводов реле-регуляторов генераторов переменного тока

Тип реле-регулятора	Марка автомобиля	Обозначение на схемах				
		Я	Б	ВЗ	Ш	М
РР362А	„Москвич“	Нет вывода	+	ВЗ	Ш	Не обозначен
РР380	„Жигули“	Нет вывода	30	15	67	31
РР350*	„Волга“	Нет вывода	+	+, ВЗ	Ш	—, М
РР310	„Запорожец“	В	Б	ВЗ	Ш	—, М

* Внешние соединения осуществляются с помощью специального разъема.

В различных типах реле-регуляторов, устанавливаемых на автомобилях, обозначения выводов отличаются друг от друга. Для удобства подключения электронных регуляторов в электрическую схему автомобиля в табл. 2 приведены обозначения выводов схем электронных регуляторов и выводов стандартных реле-регуляторов наиболее распространенных легковых автомобилей.

Регулятор для 12-вольтовых генераторов с «плюсом» на массе

Регулятор предназначен для автомобилей старых выпусков, имеющих электрооборудование с «плюсом» на массе. Он может быть выполнен на транзисторах типа $p-n-p$ (рис. 33) и транзисторах типа $n-p-n$ (рис. 34). Последняя схема имеет лучшие характеристики и более проста, но может быть выполнена только на кремниевых транзисторах.

Принцип работы обоих регуляторов такой же, как и регулятора для генераторов с «минусом» на массе (см. рис. 21). Регулятор на транзисторах типа $p-n-p$ (рис. 33) имеет диапазон регулирования тока возбуждения 0,015—1,7 А при напряжении сети $U_c=14$ В и сопротивлении обмотки возбуждения 7 Ом. Падение напряжения на транзисторе T_3 в открытом состоянии $U_{КЭ}=1,4$ В.

Регулятор на транзисторах типа *n-p-n* (см. рис. 34) при тех же условиях имеет диапазон регулирования тока возбуждения 0,001—1,93 А и падение напряжения на транзисторе T_2 в отпертом состоянии $U_{КЭ} = 0,5$ В.

Регулятор для 6-вольтовых генераторов с «плюсом» на массе. Регулятор (рис. 35) может быть использован в автомобиле «Москвич-401», автомобилях иностранных марок и мотоциклах, имеющих напряжение сети 6 В.

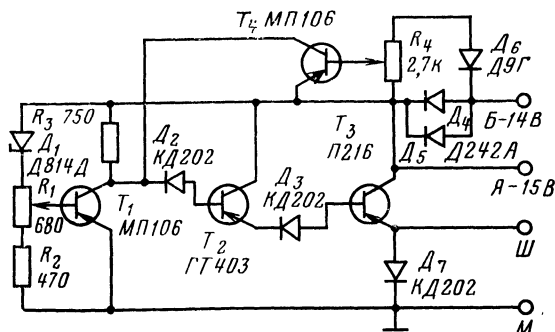


Рис. 33. Схема регулятора напряжения для 12-вольтового генератора постоянного тока с «плюсом» на массе на транзисторах типа *p-n-p*.

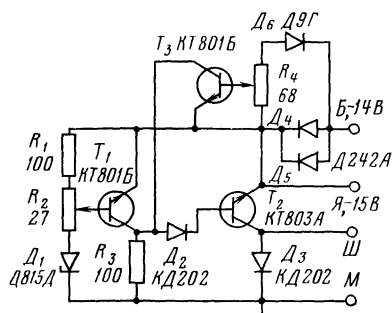


Рис. 34. Схема регулятора напряжения для 12-вольтового генератора постоянного тока с «плюсом» на массе на транзисторах типа *n-p-n*.

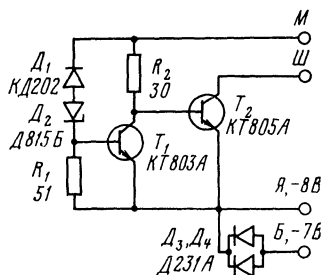


Рис. 35. Схема регулятора напряжения для 6-вольтового генератора постоянного тока с «плюсом» на массе.

Регулятор с хорошими характеристиками может быть выполнен только на транзисторах типа *n-p-n*, так как в этих схемах с понижением напряжения ухудшаются условия отпирания выходного транзистора.

При напряжении $U_c=7$ В и сопротивлении обмотки возбуждения $R_b=3,5$ Ом регулятор обеспечивает диапазон регулирования тока возбуждения $0,005-1,7$ А при падении напряжения на транзисторе T_2 в открытом состоянии $U_{кэ}=1$ В.

В связи с тем что стабилитроны Д815 имеют значительный разброс, необходимо их подбирать по напряжению стабилизации. Пригодны стабилитроны с напряжением стабилизации $7,5-8$ В.

Если нет возможности подобрать один стабилитрон, можно подсоединить последовательно с ним один или два кремниевых диода в прямом включении, как показано на рис. 35 (диод D_1).

В связи с тем что кремниевые триоды КТ805А допускают обратное импульсное напряжение между коллектором и эмиттером до 160 В, шунтировать обмотку возбуждения, как это сделано в схеме на рис. 34, не нужно.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И РЕГУЛИРОВКА ЭЛЕКТРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

Конструкция

Электронный регулятор может быть изготовлен любым радиолюбителем или автолюбителем, знакомым с основами монтажа и регулировки транзисторных схем. Автолюбители, не имеющие такого опыта, могут ограничиться изготовлением только регулятора напряжения с реле обратного тока (без ограничителя тока), что значительно упростит задачу.

Описание конструкции регулятора сделано для наиболее распространенных 12-вольтовых генераторов с «минусом» на массе (см. рис. 21).

Прежде всего необходимо уточнить, какой полюс аккумуляторной батареи соединен с массой, и выбрать соответствующую схему регулятора. При этом желательно уточнить сопротивление обмотки и максимальный ток возбуждения генератора. Ориентировочные данные можно взять из прилож. 3. Однако в связи с тем, что заводы проводят модернизацию генераторов, сопротивления обмоток генераторов разных выпусков могут значительно различаться.

Для определения сопротивления обмотки возбуждения необходимо при неработающем двигателе отсоединить провод, идущий от генератора к зажиму *Ш* реле-регулятора, этот провод через амперметр постоянного тока (со шкалой до 4 А) соединить с зажимом *Б* и измерить ток. Разделив напряжение аккумуляторной батареи на ток, получим сопротивление обмотки возбуждения генератора.

Целесообразно разместить детали схемы в кожухе стандартного реле-регулятора. После этого необходимо выбрать место размещения регулятора. Обычно его устанавливают вместо стандартного регулятора.

При использовании корпуса реле РР24 необходимо удалить с него все детали, за исключением зажимов *Б*, *Я*, *Ш*. В металлическом шасси надо высверлить, а затем прорубить отверстие размером 45×95 мм и заготовить две платы из гетинакса размером

50 × 100 мм. Одну плату устанавливают сверху, а другую — снизу отверстия в шасси регулятора. На нижней плате (рис. 36) располагают все детали, за исключением кремниевых диодов и резистора R_2 . Последние располагают на верхней плате (рис. 37) так, чтобы они закрывались крышкой.

Следует помнить, что при работе реле обратного тока (диоды D_7, D_8) рассеиваемая в виде тепла мощность достигает 25 Вт, поэтому эти диоды необходимо установить на теплоотводе площадью 100—150 см², а в крышке сделать сквозные отверстия для лучшей

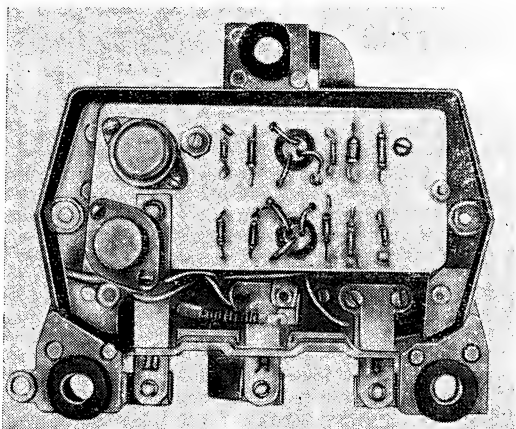


Рис. 36. Нижняя плата регулятора.

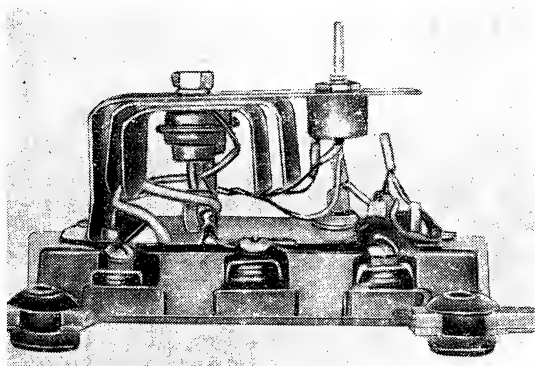


Рис. 37. Вид на регулятор сбоку.

вентиляции. На теплоотводе устанавливают переменный резистор R_2 так, чтобы через отверстие в крышке можно было регулировать напряжение в сети, вращая ось этого резистора. Резистор R_2 должен быть проволочным, например ППЗ-43, так как в резисторах типа СПО при длительных вибрациях нарушается контакт. Резистор R_6 должен быть изготовлен из высокоомной проволоки диаметром 0,5—0,8 мм. Для его намотки можно использовать спираль электрической плитки и каркас одного из резисторов, снятых со стандартного регулятора. Остальные резисторы следует рассчитать на мощность рассеяния не менее 0,25 Вт.

При отсутствии диодов или транзисторов, указанных в схеме, можно заменить их другими, однако в ряде случаев потребуется подбор режимов. Рекомендации по замене транзисторов и диодов приведены в прилож. 5.

Следует обратить внимание на надежность крепления деталей и тщательность монтажа, так как от этого в значительной степени будут зависеть надежность и долговечность работы регулятора. Наиболее ответственные соединения, особенно в регулирующем каскаде и реле обратного тока, должны быть продублированы дополнительным проводом или винтом крепления. Теплоотвод, ось резистора R_2 и другие детали не должны касаться металлического шасси регулятора или его крышки, так как это приведет к короткому замыканию в схеме (а в некоторых случаях и аккумуляторной батареи) на корпус. Желательно предусмотреть специальный провод для соединения корпуса реле с корпусом автомобиля.

После наладки и проверки работы регулятора на автомобиле нужно покрыть все его детали и особенно места паяк влагозащитным лаком.

Регулировка

Прежде чем приступить к регулировке, необходимо тщательно проверить правильность соединения деталей схемы, особенно правильность включения транзисторов и диодов.

Для проверки регулятора напряжения необходим реостат, допускающий ток до 3 А при сопротивлении 3,5 или 7 Ом (в зависимости от сопротивления обмотки возбуждения генератора). Реостат включают между массой («минус» источника питания) и зажимом Ш, он заменяет при наладке генератор. Желательно в эту цепь включить амперметр постоянного тока для контроля тока возбуждения.

Зажим Б подсоединяют к «плюсовому» зажиму источника питания. Источником питания может служить выпрямитель на напряжение 15—16 В и ток 3 А (например, выпрямитель ВСП-30) или две аккумуляторные батареи, соединенные последовательно.

Регулятор напряжения проверяют в следующем порядке. Коллектор транзистора T_4 (см. рис. 21) отсоединяют от схемы. На регулятор от источника питания подают напряжение 3—5 В. Увеличивая напряжение, наблюдают за током, проходящим через реостат и транзистор T_3 . Ток должен увеличиваться. При напряжении 13,5—16 В транзистор T_1 должен отпереться, а транзистор T_3 — запереться, при этом ток резко уменьшится. После этого плавно уменьшают напряжение источника питания и замечают напряжение, при котором ток появится. Разность напряжений, при которых ток прекращается и появляется, не должна быть более 1 В; боль-

шая разность указывает на недостаточный коэффициент усиления транзисторов.

Если при увеличении напряжения ток не появляется или не прекращается, значит, в схеме неисправность. В этом случае необходимо поочередно проверить регулятор. Для этого отсоединяют резистор R_5 от коллектора транзистора T_1 и проверяют измерительный элемент. Подключив вольтметр постоянного тока между коллектором и эмиттером транзистора T_1 , увеличивают напряжение. Вольтметр должен показывать увеличение напряжения, а затем резкое уменьшение, как это показано на кривой на рис. 22. Если этого не происходит, следует проверить транзистор T_1 .

Наблюдая за показаниями вольтметра, поочередно через резистор сопротивлением 3 кОм соединяют базу транзистора с «минусом» и «плюсом» источника питания. В первом случае транзистор должен отпереться, а вольтметр показывать напряжение примерно 1 В. Во втором — транзистор должен быть заперт, а вольтметр показывать напряжение источника питания. Если транзистор запирается или отпирается плохо, то его следует заменить.

При исправном транзисторе проверяют цепочку $D_1R_1R_2R_3$. Для этого вольтметр подсоединяют между движком резистора R_2 и «минусом» источника питания. При увеличении напряжения вольтметр должен показывать увеличение напряжения, а по достижении 13—14 В увеличение должно прекратиться (см. кривую 1 на рис. 6,б). Если имеется отклонение, надо проверить резисторы и заменить стабилитрон D_1 .

Транзисторы T_2 и T_3 регулирующего элемента проверяются следующим образом. Отсоединив базу транзистора T_3 от диода D_2 , через резистор сопротивлением 100 Ом замыкают ее на корпус регулятора. При этом через коллектор транзистора и реостат должен проходить ток, равный максимальному току возбуждения генератора. При замыкании на «плюс» источника питания ток должен резко уменьшиться и быть не более 20 мА. Если транзистор исправен, подсоединяют его базу к диоду D_2 и аналогично проверяют транзистор T_2 .

Устранив неисправность, проверяют регулятор в целом.

Устройство защиты выходного транзистора проверяют при исправном регуляторе напряжения. Напряжение источника питания устанавливают несколько меньшим номинального, чтобы через транзистор T_3 и резистор R_6 проходил ток, близкий к максимальному. Затем подсоединяют коллектор транзистора T_4 к коллектору транзистора T_1 . Уменьшая сопротивление реостата, увеличивают ток через резистор R_6 до тех пор, пока транзистор T_4 не отперется и не запрет транзисторы T_2 и T_3 . Ток при этом должен будет полностью прекратиться.

Подбором сопротивления резистора R_6 можно увеличить или уменьшить максимальный ток, который в дальнейшем будет протекать через обмотку возбуждения генератора.

Ограничитель максимального тока проверяют аналогичным образом. Через диоды D_7 , D_8 от аккумуляторной батареи через реостат сопротивлением 0,5—1,0 Ом пропускают ток 18—20 А. При этом ток транзистор T_4 должен быть отперт падением напряжения (1,2—1,5 В) на диодах. Ток через транзистор T_3 должен прекратиться. Если этого не произойдет, то необходимо будет уменьшить сопротивление резистора R_8 . Подбором сопротивления этого рези-

стора устанавливают максимально допустимый ток нагрузки генератора. После окончательной регулировки регулятор собирают и устанавливают на автомобиле.

Установка и испытание

Подключают регулятор в схему электрооборудования автомобиля в следующем порядке. Отсоединяют один из проводов, идущих к аккумуляторной батарее.

Отсоединяют провода, идущие к зажимам *Б*, *Я*, *Ш* стандартного реле-регулятора, и подсоединяют их к соответствующим зажимам электронного регулятора.

После проверки правильности соединения подключают аккумуляторную батарею, наблюдая при этом, не появляется ли в месте контакта искра, что будет указывать на неправильность соединения или короткое замыкание в регуляторе.

Включив зажигание, проверяют потребляемый ток по амперметру на щитке автомобиля (он не должен превышать 5 А).

Запустив двигатель и вращая ось резистора R_2 , убеждаются, что на средних и больших оборотах аккумуляторная батарея подзарядается.

Для точной установки оптимального напряжения (см. табл. 1) необходим вольтметр постоянного тока с точностью отсчета не хуже 0,1 В; подсоединив его к аккумуляторной батарее, резистором R_2 устанавливают необходимое напряжение (для автомобилей, эксплуатируемых в центральной полосе, это напряжение равно 13,9 В); напряжение следует устанавливать только после прогрева двигателя.

Испытания работы реле сводятся к проверке изменения напряжения на аккумуляторной батарее при изменении частоты вращения вала двигателя и нагрузки. Если напряжение меняется не более чем на 0,2 В, то регулятор работает нормально. Если при изменении нагрузки отклонение напряжения более указанного, то необходимо проверить максимальный ток нагрузки. Часто он бывает выше допустимого для генератора. Например, генератор Г-108М автомобиля «Москвич-408» допускает максимальный ток 20 А, а максимальный потребляемый ток при четырехфазном исполнении составляет 25 А. В этом случае напряжение на аккумуляторе будет уменьшаться за счет срабатывания ограничителя максимального тока или от перегрузки генератора.

Если причина значительного изменения напряжения все же в самом регуляторе, то следует подобрать сопротивление резистора R_6 . При недостаточных пределах регулировки напряжения генератора нужно подобрать сопротивления резисторов R_1 и R_3 .

ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ НАПЯЖЕНИЯ, ВЫПУСКАЕМЫЕ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ

За последние годы разработан и выпускается промышленностью ряд электронных регуляторов. По сравнению с электромеханическими они более надежны, обеспечивают большую точность регулирования, создают меньше помех. Основные технические характеристики электронных регуляторов напряжения, выпускаемых промышленностью, приведены в прилож. 6.

Контактно-транзисторный регулятор РР362

Реле-регулятор предназначен для работы совместно с автомобильным генератором Г-250 переменного тока напряжением 12 В и силой тока 40 А, со встроенными кремниевыми выпрямителями по однопроводной схеме с соединением зажимы «минус» на массу.

Реле-регулятор РР362 состоит из вибрационного регулятора напряжения РН, ключа на транзисторе Т и реле защиты РЗ (рис. 38). Функция измерительного элемента выполняется реле РН, а регулирующего — транзистором. Это компромиссный, переходный вариант от электромеханического к электронному регулятору.

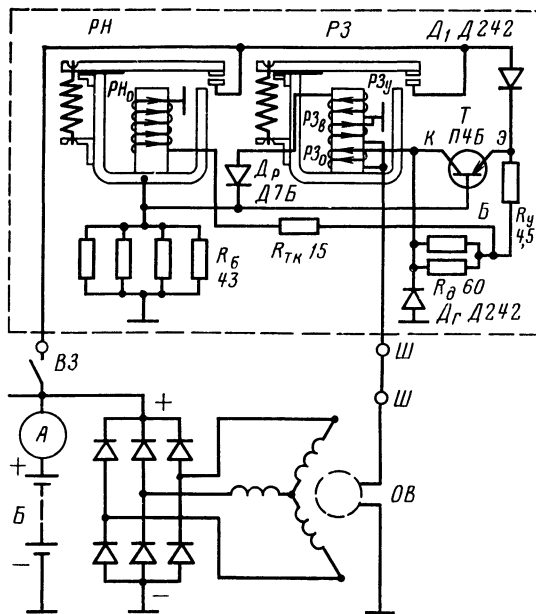


Рис. 38. Функциональная схема реле-регулятора РР362.

Регулятор напряжения и реле защиты смонтированы на изоляционной панели. Оба реле имеют аналогичную конструкцию и представляют собой реле с одной парой нормально разомкнутых контактов, причем подвижный контакт обоих реле соединен с корпусом. В отсеке, отделенном от реле перегородкой, имеющейся на внутренней части крышки, расположены транзистор и два диода. В блоке реле под панелью расположены резисторы. Реле-регулятор имеет крышку из цинкового сплава. Блок уплотнен специальной резиновой прокладкой для защиты от попадания пыли, грязи, влаги. Для улучшения охлаждения полупроводниковых элементов в крышке сделаны отверстия.

Реле-регулятор имеет три выводных зажима, предназначенных для соединения с зажимом *Ш* (шунтовая обмотка генератора), с зажимом *ВЗ* (выключатель зажигания) и зажимом *М* (масса генератора). В схему электрооборудования автомобилей реле-регулятор РР362 включается через амперметр для контроля заряда и разряда аккумуляторной батареи.

Ток возбуждения генератора регулируется ключом на транзисторе *Т*. Отпирание и запираание транзистора обеспечиваются электромагнитным реле *РН*. Его обмотка *РН_о* является измерительным элементом схемы регулятора, а контакты, включенные между плюсом (зажим *ВЗ*) и базой, управляют состоянием транзистора. Ток управления транзистором в 10—15 раз меньше тока возбуждения генератора, поэтому контакты реле-регулятора напряжения значительно меньше изнашиваются и не подгорают. Для обеспечения надежного соединения контакты реле изготавливаются из серебра.

Регулятор напряжения имеет только одну обмотку *РН_о*, включенную по схеме ускоряющего сопротивления; добавочное сопротивление *R_д* регулятора состоит из двух параллельно соединенных резисторов. Ускоряющее *R_у* и добавочное *R_д* сопротивления регулятора включены параллельно транзистору *Т* (между эмиттерным *Э* и коллекторным *К* выводами). Термокомпенсация регулятора напряжения осуществляется резистором *R_{тк}* и подвеской якоря реле на термобиметаллической пластине. Резисторы *R_{тк}* и *R_у* намотаны на диэлектрическом каркасе, расположенном в нижней части панели реле-регулятора. Сопротивление базы транзистора *R_б* состоит из четырех параллельно соединенных резисторов типа МЛТ. Для защиты транзистора от коротких замыканий в цепи обмотки возбуждения служит реле защиты *РЗ*. Оно имеет три обмотки, основную (сервисную) обмотку *РЗ_о*, включенную последовательно в цепь возбуждения генератора, вспомогательную обмотку *РЗ_в*, включенную параллельно обмотке возбуждения генератора, и удерживающую обмотку *РЗ_у*. Нормально разомкнутые контакты реле защиты включены через разделительный диод *Д_р* параллельно контактам регулятора напряжения.

Реле-регулятор работает следующим образом. При включении замка зажигания замыкаются зажимы *ВЗ* и реле-регулятор подключается к аккумуляторной батарее *Б*. При этом к эмиттеру транзистора *Т* прикладывается положительное напряжение и через базу транзистора начинает протекать ток *I_б* по цепи «плюс» аккумуля-

торной батареи *Б* — зажим *ВЗ* — диод *Д₁* — переход эмиттер — база транзистора *Т* — резистор *R_б* — зажим *М* — «минус» аккумуляторной батареи (см. рис. 39,а). Ток базы ограничивается резистором сопротивлением 43 Ом.

Так как потенциал эмиттера выше, чем потенциал базы, то при прохождении тока базы через переход эмиттер — база происходит резкое уменьшение сопротивления между эмиттером и коллектором и транзистор отпирается, замыкая тем самым цепь обмотки возбуждения генератора.

Ток возбуждения генератора *I_в* протекает по цепи: зажим «плюс» аккумуляторной батареи — зажим *ВЗ* — запирающий диод *Д₁* — эмиттер *Э* транзистора — переход эмиттер — коллектор — коллектор *К* транзистора — основная обмотка *РЗ_о*, реле защиты — зажим *Ш* реле-регулятора — зажим *Ш* генератора — изолированная щетка и кольцо, обмотка возбуждения *ОВ* генератора — кольцо и

массовая щетка генератора — зажим «минус» генератора — зажим «минус» аккумуляторной батареи. Одновременно по обмотке RH_0 регулятора напряжения протекает ток I_{PH} , замыкающийся по цепи: зажим «плюс» аккумуляторной батареи — зажим $B3$ — диод D_1 — ускоряющий резистор R_y — резистор температурной компенсации R_{TK} — основная обмотка RH_0 регулятора напряжения — зажим «минус» регулятора — зажим «минус» аккумуляторной батареи. Указанные выше пути тока при открытом состоянии транзистора показаны на рис. 39, а стрелками.

Сопротивление в цепи обмотки при открытом транзисторе мало, поэтому ток возбуждения максимален. Под действием тока возбуждения в магнитной цепи генератора возникает магнитный по-

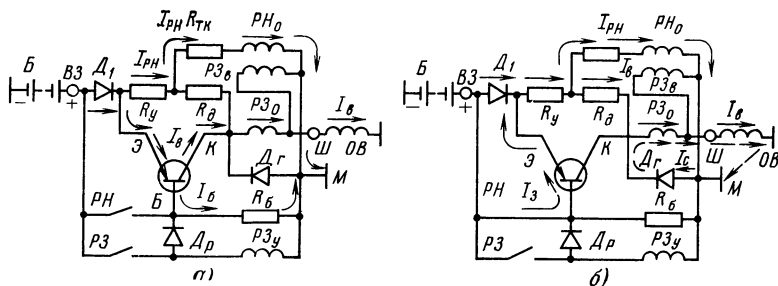


Рис. 39. Прохождение токов в схеме реле-регулятора PP362.

а — при разомкнутых контактах регулятора напряжения, соответствующих открытому состоянию транзистора; б — при замкнутых контактах регулятора напряжения, соответствующих закрытому состоянию транзистора.

ток, который после пуска двигателя при вращении ротора генератора наводит в его фазных обмотках э. д. с., поступающую на выпрямительное устройство.

Если выпрямленное напряжение генератора меньше напряжения аккумуляторной батареи, то батарея разряжается через обмотку возбуждения генератора и обмотки RH_0 и $R3_0$, как указано выше. Если при увеличении частоты вращения ротора генератора выпрямленное напряжение превысит напряжение аккумуляторной батареи, то обмотка возбуждения и реле-регулятор будут находиться под воздействием напряжения генератора и в описанном выше пути прохождения тока вместо «аккумуляторной батареи» следует читать «генератор».

Пока выпрямленное напряжение генератора меньше номинального, контакты RH регулятора напряжения остаются в разомкнутом состоянии. При увеличении выпрямленного напряжения возрастает ток в обмотке RH_0 , увеличивается намагничивающая сила и магнитный поток этой обмотки и, следовательно, возрастает усилие, действующее на якоре регулятора напряжения. Когда выпрямленное напряжение достигает 13,8—14,6 В*, якорь регулятора под действием магнитного усилия притягивается к сердечнику и контакты RH замыкаются. При этом происходит запираание транзистора, так как его база через замкнутые контакты RH и зажим $B3$

* Для реле-регулятора PP362-A 13,3—14,1 В.

соединяется с зажимом «плюс» генератора и аккумуляторной батареи (см. рис. 38). Потенциал эмиттера в этот момент будет ниже потенциала базы (т. е. потенциала зажима «плюс») на значение падения напряжения на запирающем диоде D_1 , обусловленного протеканием тока через диод (см. рис. 39,б).

Под действием разности потенциалов через переход база — эмиттер транзистора проходит незначительный запирающий (обратный) ток I_3 , обеспечивающий надежное запирающее транзистора при повышении температуры окружающей среды.

При запирающем транзистора сопротивление перехода эмиттер — коллектор резко возрастает и вследствие этого значительно снижается ток возбуждения генератора, замыкающийся теперь по цепи (рис. 39,б): зажим «плюс» генератора — зажим $B3$ — запирающий диод D_1 — ускоряющий резистор R_y — добавочный резистор R_d — основная обмотка $P3_0$ реле защиты — зажим III регулятора и генератора — обмотка возбуждения OB генератора — зажим «минус» генератора. Из-за уменьшения тока возбуждения напряжение генератора также понизится.

При понижении напряжения генератора уменьшаются ток, намагничивающая сила, магнитный поток и магнитное усилие регулятора напряжения; в результате под действием пружины якорька контакты RH регулятора напряжения разомкнутся и напряжение генератора вновь повысится до номинального. Описанный процесс повторяется периодически, и таким образом напряжение генератора поддерживается в заданных пределах. Повышение частоты размыкания контактов регулятора напряжения RH обеспечивается включением обмотки RH_0 регулятора по схеме ускоряющего сопротивления.

В момент замыкания контактов RH регулятора напряжения из-за резкого снижения тока возбуждения в обмотке возбуждения генератора индуцируется э. д. с. самоиндукции, под действием которой возникает ток I_0 (на рис. 39,б показан пунктиром), замыкающийся по цепи: зажим III обмотки возбуждения — обмотка возбуждения — зажим «минус» — горящий диод D_r — обмотка $P3_0$ — зажим III регулятора — зажим III генератора. Этим самым снижается перенапряжение на регулирующем элементе, опасное для транзистора.

В остальном процесс регулирования аналогичен процессу регулирования напряжения посредством вибрационных регуляторов напряжения.

Реле защиты работает следующим образом. Основная (последовательная) обмотка $P3_0$ и вспомогательная (шунтовая) обмотка $P3_v$ реле защиты включены встречно. При нормальной работе регулятора напряжения через обмотку $P3_0$ протекает ток возбуждения генератора, а через обмотку $P3_v$ — ток, обусловленный напряжением на зажиме III регулятора и сопротивлением обмотки $P3_v$.

Магнитные потоки этих двух обмоток направлены навстречу друг другу, поэтому суммарный магнитный поток сердечника реле защиты, а следовательно, и магнитное усилие притяжения якорька малы, и поэтому под действием пружины якорька контакты реле защиты останутся разомкнутыми. В этом случае через удерживающую обмотку $P3_y$ реле защиты ток не протекает, так как этому препятствует очень высокое обратное сопротивление разделительного диода D_p .

При случайном замыкании зажимов *Ш* реле-регулятора или генератора на массу резко увеличивается ток в цепи основной обмотки *РЗ*_о реле защиты, а ток во вспомогательной обмотке *РЗ*_в падает до нуля, так как оба конца этой обмотки закорачиваются на массу. При этом значительно возрастает магнитный поток в сердечнике реле защиты, магнитное усилие притягивает якорек к сердечнику и контакты *РЗ* замыкаются.

В этот момент база транзистора через разделительный диод *Д*_р, контакты *РЗ* и зажим *ВЗ* соединяется с зажимами «плюс» генератора и аккумуляторной батареи и ее потенциал становится выше, чем потенциал эмиттера. Сопротивление перехода эмиттер — коллектор резко увеличивается, транзистор запирается и напряжение генератора, а следовательно, и ток короткого замыкания значительно снижаются.

При замкнутых контактах реле защиты *РЗ* удерживающая обмотка *РЗ*_у реле защиты включается на полное напряжение сети и в ней возникает ток, создающий магнитный поток, совпадающий с направлением магнитного потока основной обмотки *РЗ*_о реле защиты. Магнитное усилие, притягивающее якорек, еще больше возрастает, что будет способствовать сохранению замкнутого состояния контактов реле защиты *РЗ*.

При замыкании цепи обмотки возбуждения на массу ток возбуждения, а следовательно, магнитный поток генератора весьма малы и напряжение и ток генератора резко падают. Транзистор будет заперт до тех пор, пока не будет устранено короткое замыкание в цепи возбуждения генератора. При устранении короткого замыкания во вспомогательной обмотке *РЗ*_в возникает ток, а в обмотке *РЗ*_о он уменьшается до обычного значения; магнитный поток в сердечнике реле защиты уменьшается, и под действием пружины якорька контакты реле защиты размыкаются. В это время ток в удерживающей обмотке уменьшается до нуля, и таким образом обеспечивается нормальная работа регулятора напряжения.

Реле защиты должно срабатывать при силе тока в основной обмотке *РЗ*_о, равной 3,2—3,6 А.

Данные элементов, входящих в реле-регулятор, приведены в табл. 3.

Проверка работы реле-регулятора РР362 и устранение неисправностей. В процессе эксплуатации работу реле-регулятора следует проверять при каждом техническом осмотре. Для проверки необходимо иметь вольтметр со шкалой до 15—20 В класса точности не менее 1,5. Проверка осуществляется при включенной аккумуляторной батарее, которая должна быть полностью заряжена. Вольтметр включается между зажимом *ВЗ* реле-регулятора и массой. Затем запускают двигатель и доводят частоту вращения коленчатого вала до 2000—2500 об/мин. После 10 мин работы двигателя включают подфарники и задние фонари и измеряют напряжение. Вольтметр должен показывать напряжение в соответствии с данными прилож. 6. Если напряжение не укладывается в указанные пределы, регулятор надо подрегулировать. Следует также проверить напряжение между зажимом «плюс» генератора и массой. Превышение этого напряжения более чем на 1,5 В относительно замеренного на реле-регуляторе указывает на большое переходное сопротивление в соединениях проводов или в выключателе зажигания.

Регулировка реле-регулятора производится в следующем порядке. При отключенном аккумуляторе снять крышку реле-регулятора. Включить вольтметр и запустить двигатель. Регулировка заключается в изменении натяжения пружины якорька регулятора напряжения. Для регулировки следует пользоваться регулировочной вилкой. При ее отсутствии регулировку можно осуществить плоскогубцами. При необходимости повысить напряжение следует усилить натяжение пружины, при необходимости уменьшить напряжение — ослабить натяжение пружины.

Т а б л и ц а 3

Данные обмоток реле, резисторов, диодов и транзистора реле-регулятора РР362

Элементы	Марка, тип	Диаметр провода, мм	Число витков	Сопротивление, Ом
Основная обмотка регулятора напряжения RH_0	ПЭВ-2	0,29	1240	$17 \pm 0,9$
Основная обмотка реле защиты PZ_0	ПЭВ-2	0,72	75	Очень мало
Удерживающая обмотка PZ_y	ПЭВ-2	0,17	1050	30 ± 2
Вспомогательная обмотка PZ_a	ПЭК	0,25	40—50	95 ± 7
Ускоряющий резистор R_y	ПЭК	0,3	—	$4,5 \pm 0,3$
Термокомпенсационный резистор R_{TK}	ГАВКМ-2	0,3	—	15 ± 1
Добавочный резистор R_d	МЛТ-2; 2 шт. по 120 Ом вкл. параллельно	—	—	$60 \pm 10\%$
Резистор в цепи базы R_6	МЛТ-1; 2 шт. по 300 Ом	—	—	$43 \pm 5\%$
	МЛТ-2; 2 шт. по 120 Ом, вкл. параллельно	—	—	—
	но	—	—	—
Транзистор T	П4-Б	—	—	—
Запирающий диод D_1	Д242	—	—	—
Гасящий диод D_T	Д242	—	—	—
Разделительный диод D_p	Д7Б	—	—	—

При регулировке следует помнить, что корпуса электромагнитных реле и пружины находятся под напряжением относительно корпуса реле-регулятора. Случайное касание вилкой или плоскогубцами корпуса вызовет короткое замыкание, которое может привести к отказу в работе реле-регулятора.

Основные неисправности реле-регулятора РР362 можно определить по показаниям амперметра на приборном щитке автомобиля. Прежде всего необходимо убедиться, что амперметр исправен. Для этого при выключенном двигателе надо включить подфарники —

Стрелка амперметра должна показывать разряд. Следует также проверить натяжение ремня генератора.

Далее при частоте вращения коленчатого вала двигателя 1000—1500 об/мин, включенной батареи и отключенных потребителей на 1—2 с нужно замкнуть кусочком провода зажимы ВЗ и Ш реле-регулятора. При этом возможно следующее.

Амперметр не показывает броска зарядного тока; при замыкании проводом зажимов ВЗ и Ш искрения в точках присоединения этого провода к зажимам не происходит. В этом случае неисправность следует искать в генераторе.

Амперметр не показывает броска зарядного тока, однако при замыкании проводом зажимов ВЗ и Ш возникает сильное искрение. В этом случае причиной отсутствия заряда является короткое замыкание цепи обмотки возбуждения на массу, из-за чего срабатывает реле защиты в регуляторе. Необходимо, отключив батарею, устранить короткое замыкание, после чего заряд должен восстановиться.

Амперметр показывает бросок зарядного тока. В этом случае неисправность заключена в регуляторе и наиболее вероятные ее причины таковы.

Самопроизвольное срабатывание реле защиты, что легко определяется визуально при снятии крышки реле-регулятора. Неисправность может быть устранена незначительным повышением натяжения пружины реле защиты.

Нарушение регулировки регулятора напряжения (регулируемое напряжение меньше напряжения аккумуляторной батареи, поэтому заряд отсутствует). Убедиться в этом можно путем кратковременного натяжения пружины регулятора напряжения. При этом должен появиться зарядный ток и без замыкания зажимов ВЗ и Ш. Неисправность устраняется увеличением натяжения пружины.

Внутренний обрыв в реле-регуляторе. Регулятор должен быть снят и передан для ремонта в мастерскую.

Когда амперметр длительное время показывает зарядный ток более 8—10 А, необходимо проверить значение номинального напряжения. Если оно соответствует данным, приведенным в прилож. 6, то реле-регулятор исправен, а большой ток обусловлен тем, что батарея сильно разряжена. Если после заряда батареи зарядный ток длительное время будет равен 6—7 А, следует уменьшить напряжение реле-регулятора на 0,3 В. Если уровень регулируемого напряжения выше приведенных пределов, регулятор необходимо также подрегулировать. Если регулятор не поддается регулировке, то это означает, что он неисправен. Наиболее вероятным здесь является пробой транзистора (сопротивление перехода эмиттер — коллектор равно нулю).

Для проверки транзистора следует при остановленном двигателе и включенном зажигании подключить вольтметр между зажимом Ш и массой реле-регулятора и, нажимая пальцем поочередно на якорьки регулятора и реле защиты, замкнуть их контакты. При исправном транзисторе стрелка вольтметра должна показать нуль. Если показание вольтметра при замыкании контактов не меняется, то это означает, что транзистор пробит. Реле-регулятор должен быть снят и сдан в мастерскую для ремонта.

Если отказ произошел в пути и нет запасного реле-регулятора, можно поступить следующим образом. При пробое транзистора во избежание недопустимого перезаряда батареи отсоединить провод

от одного из зажимов реле-регулятора *B3* и *III*. Отключать батарею при этом нельзя, так как в этом случае резко возрастет напряжение генератора, что вызовет перегорание ламп и приборов. При отключении генератора питание всех потребителей будет осуществляться от аккумуляторной батареи, которую нужно подзарядить через каждые 150—200 км пробега. Для этого надо сделать остановку, проводом соединить между собой зажимы *B3* и *III* реле-регулятора и установить частоту вращения коленчатого вала двигателя такой, чтобы зарядный ток был 20—25 А. Подзарядив батарею в течение 30 мин, можно продолжать движение, сняв предварительно перемычку. В темное время суток можно подзарядить при движении автомобиля. При этом кроме фар рекомендуется включить максимально возможное число потребителей, с тем чтобы ограничить зарядный ток. Продолжительность подзаряда 20—25 мин.

Бесконтактный транзисторный регулятор напряжения РР350

Регулятор предназначен для работы с автомобильным генератором Г250-Е1, устанавливаемым в автомобилях М-24 «Волга».

Регулятор РР350 содержит только регулятор напряжения. Реле защиты и ограничителя максимального тока он не имеет.

Регулятор напряжения выполнен на трех транзисторах и четырех диодах и состоит из измерительного и регулирующего устройств.

Измерительное устройство предназначено для сравнения фактического напряжения генератора с заданным, необходимым по условиям эксплуатации. В него входят (рис. 40): резисторы делителя напряжения $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_7, R_8$, дроссель Dp , стабилитрон D_1 , транзистор T_1 .

Регулирующее устройство служит для усиления сигналов измерительного устройства и регулирования тока возбуждения генератора. В него входят: транзисторы T_2 и T_3 , диоды D_2 и D_0 , резисторы R_9, R_{10}, R_{11} . В схему регулятора входят также диод D_6 , включенный параллельно обмотке возбуждения генератора и защищающий транзистор T_3 от перенапряжений.

Работа регулятора напряжения осуществляется следующим образом. При включении зажигания выключатель *B3* замыкается и на регулятор напряжения подается напряжение аккумуляторной батареи. Через элементы делителя измерительного устройства начинает протекать ток. Через стабилитрон D_1 протекает небольшой ток по цепи: зажим «плюс» аккумуляторной батареи — выключатель *B3* — резистор R_7 — стабилитрон D_1 — две параллельные ветви, состоящие из резистора R_4 и дросселя Dp и резисторов R_5 и R_{TK} , — зажим «минус» регулятора — зажим «минус» аккумуляторной батареи. Падение напряжения, возникающее на стабилитроне D_1 , меньше напряжения стабилизации, поэтому пробоя стабилитрона не происходит. Падение напряжения на резисторе R_7 сопротивлением 300 Ом ввиду малого тока также незначительно, и потенциалы базы и эмиттера транзистора T_1 практически равны. Ток эмиттер — база, необходимый для отпирания транзистора, весьма мал. Вследствие этого транзистор T_1 заперт.

Сопротивление перехода коллектор — эмиттер велико, следовательно, велико и падение напряжения на этом переходе. Это обеспечивает появление на базе транзистора T_2 отрицательного напряжения, отпирающего транзистор T_2 . При этом под действием тока эмиттер — база и эмиттер — коллектор открытого транзистора T_2 создается падение напряжения на сопротивлении R_{10} и потенциал базы транзистора T_3 становится значительно меньше потенциала его эмиттера. Возникает ток эмиттер — база в цепи транзистора T_3 , и транзистор отпирается. В результате через цепь обмотки возбуждения генератора протекает ток, замыкающийся по цепи: «плюс» аккумуляторной батареи — выключатель $BЗ$ — зажим «плюс»

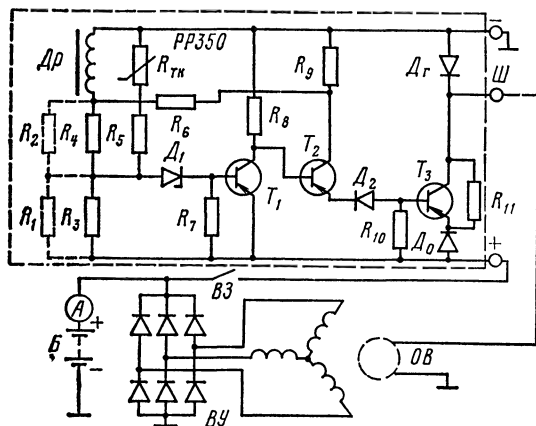


Рис. 40. Схема регулятора напряжения PP350 и его подключения к генератору и аккумуляторной батарее.

регулятора — диод обратной связи D_0 — электроды эмиттер и коллектор транзистора T_3 — зажим $Ш$ регулятора — обмотка возбуждения $ОВ$ генератора — зажим «минус» генератора — зажим «минус» аккумуляторной батареи.

Падение напряжения на открытом транзисторе T_3 незначительно (около 2 В), и ток возбуждения генератора, определяемый напряжением аккумуляторной батареи и сопротивлением цепи обмотки возбуждения, равен максимальному. После пуска двигателя при вращении ротора в фазных обмотках генератора под действием тока возбуждения наводятся э. д. с., которые выпрямляются выпрямительным устройством $ВУ$.

Если выпрямленное напряжение меньше напряжения аккумуляторной батареи, то последняя разряжается током, равным примерно 2,5—3 А. Он определяется в основном током возбуждения генератора, так как регулятор потребляет весьма небольшой ток. С увеличением частоты вращения выпрямленное напряжение увеличивается, и при превышении напряжения аккумуляторной батареи обмотка возбуждения и регулятор будут питаться от генератора. При этом, если напряжение генератора не достигает номинального значения, транзистор T_3 остается в открытом состоянии.

Когда напряжение генератора достигает номинального напряжения 13,2—14,5 В, обратное напряжение, приложенное к стабилитрону, составляет 7—8 В и стабилитрон пробивается. Его напряжение резко снижается, протекающий через него ток увеличивается. Падение напряжения на резисторе R_7 возрастает, потенциал базы транзистора T_1 резко уменьшается по сравнению с потенциалом его эмиттера, и транзистор T_1 отпирается, сопротивление перехода эмиттер — коллектор резко уменьшается, а ток, текущий через резистор R_8 , увеличивается. Падение напряжения на резисторе возрастает, разность потенциалов эмиттера и базы транзистора T_2 уменьшается, и транзистор запирается. Это в свою очередь приводит к запираннию транзистора T_3 , поскольку весьма малый ток, текущий через резистор R_{10} , диод D_2 , запертый транзистор T_2 и резистор R_9 , создает незначительное падение напряжения на резисторе R_{10} , вследствие чего потенциал базы транзистора T_3 становится почти равным потенциалу его эмиттера.

Из-за запиранния транзистора T_3 его сопротивление эмиттер — коллектор, входящее в цепь обмотки возбуждения, резко увеличивается, ток обмотки возбуждения, замыкающийся теперь в основном через добавочный резистор R_{11} , шунтирующий транзистор T_3 , уменьшается и напряжение генератора также снижается.

Когда напряжение становится меньше номинального, обратное сопротивление стабилитрона D_1 увеличивается. Это приводит к уменьшению тока, протекающего через резистор R_7 , и, следовательно, к уменьшению падения напряжения на нем и уменьшению разности потенциалов эмиттер — база транзистора T_1 , что приводит к его запираннию. В результате транзисторы T_2 и T_3 вновь отпираются и ток возбуждения генератора увеличивается. Напряжение генератора будет также увеличиваться до тех пор, пока оно не достигнет номинального значения и не вызовет вновь пробой стабилитрона D_1 .

Описанный процесс повторяется периодически, и, таким образом, напряжение генератора поддерживается постоянным в заданных пределах регулирования.

Транзисторы регулятора напряжения работают в ключевом режиме, т. е. переходят из открытого в запертое состояние. В обмотке возбуждения генератора при этом индуцируется э. д. с. самоиндукции. Для защиты транзистора T_3 от пробоя под действием этой э. д. с. в схеме применен гасящий диод D_1 , включенный параллельно обмотке возбуждения генератора.

Для уменьшения влияния температуры на значение регулируемого напряжения в одно из плеч делителя напряжения измерительного устройства включен терморезистор $R_{тк}$ типа ММТ-1. Терморезистор представляет собой стержень из полупроводникового материала, на концы которого напрессованы металлические колпачки с проволочными выводами. Сопротивление терморезистора сильно зависит от температуры, причем оно имеет отрицательный температурный коэффициент. Так, например, при изменении температуры от 0 до 100°C сопротивление терморезистора уменьшается в 20—70 раз; сопротивление же резисторов типа МЛТ в этом же интервале температур повышается примерно на 10%.

Стабилизация напряжения при изменении температуры осуществляется следующим образом. При увеличении температуры напряжение пробоя стабилитрона D_1 увеличивается и пропорционально ему возрастает напряжение генератора. Однако сопротивление

терморезистора R_{TK} при повышении температуры уменьшается, а вместе с ним и суммарное сопротивление плеча делителя, состоящее из резисторов R_4 , R_5 , R_{TK} . В результате обратное напряжение на стабилитроне увеличивается и пробой его произойдет при меньшем значении регулируемого напряжения. Таким образом, указанные эффекты компенсируют друг друга, и с повышением температуры регулируемое напряжение будет оставаться неизменным.

Резисторы R_1 и R_2 служат для установки номинального напряжения, поддерживаемого регулятором.

Т а б л и ц а 4

Элементы регулятора напряжения РР350

Элементы	Тип	Сопротивление, Ом
Резисторы: R_3	МЛТ-0,5	$220 \pm 5\%$
R_4	МЛТ-0,5	$100 \pm 5\%$
R_5	МЛТ-0,5	$390 \pm 5\%$
R_6	МЛТ-0,5	$3000 \pm 5\%$
R_7	МЛТ-0,5	$300 \pm 10\%$
R_8	МЛТ-1,0	$470 \pm 5\%$
R_9	МЛТ-282	$27 \pm 5\%$
	(3 шт. параллельно)	
R_{10}	МЛТ-025 51	$17 \pm 5\%$
	(3 шт. параллельно)	
R_{11}	МЛТ-11	$220 \pm 10\%$
R_{TK}	МЛТ-1	1000
Транзисторы T_1	П302	—
T_2	П214-В	—
T_3	П217	—
Диоды: D_1	Д808	—
D_2	КД202-1	—
D_0	КД202-В	—
D_0	КД202-В	—

Регулятор напряжения РР350 обеспечивает постоянство регулируемого напряжения генератора Г-250Е1 в пределах 13,2—14,6 В при любых сочетаниях следующих эксплуатационных факторов: изменение частоты вращения ротора генератора от 2500 до 10 500 об/мин, тока нагрузки от минимального значения до 28 А и температуры окружающей среды от -40 до $+65^\circ\text{C}$.

Все элементы регулятора размещены в металлическом корпусе, закрытом специальной крышкой. Соединение регулятора с выключателем зажигания ВЗ, зажимом генератора Ш, массой генератора и аккумуляторной батареи осуществляется через штекерный разъем. При этом исключается возможность крайне нежелательного для транзисторного регулятора случайного замыкания провода Ш на массу.

Основные элементы регулятора напряжения РР350 приведены в табл. 4.

Наиболее характерные неисправности реле-регулятора РР350 следующие.

Напряжение не регулируется, наблюдается большой ток подзаряда аккумуляторной батареи. Наиболее типичной причиной такого дефекта является пробой перехода эмиттер — коллектор или эмиттер — база выходного транзистора T_3 . При проверке омметром транзистора сопротивление этих переходов будет равно нулю. Менее вероятными являются: пробой переходов транзистора T_2 , обрыв выводов транзистора T_1 или стабилитрона D_1 .

Напряжение не регулируется, амперметр показывает разряд. Наиболее частыми причинами такой неисправности являются обрыв выводов транзистора T_3 , диода D_2 , нарушение контакта в штепсельном разъеме регулятора или генератора. Реже наблюдаются обрывы электродов транзистора T_2 , пробой переходов транзистора T_1 , пробой стабилитрона D_1 . При проверке омметром отказавших в работе полупроводников, имеющих обрывы цепей, их сопротивление будет бесконечным при любой полярности подключения прибора.

Регулятор работает, но регулируемое напряжение завышено. Вероятной причиной неисправности является обрыв цепи терморезистора.

При обнаружении неисправного полупроводникового прибора он подлежит замене. При отсутствии необходимых полупроводниковых приборов в ряде случаев может быть произведена замена на прибор другого типа (см. прилож. 5). При замене любого элемента, входящего в состав измерительного устройства: транзистора П302 стабилитрона Д808, терморезистора ММТ-1, резисторов R_1 — R_3 требуется дополнительная регулировка напряжения сети в случае выхода его за предел 13,6—14,3 В. Установка номинального напряжения осуществляется подпайкой резисторов типа МЛТ-0,5 параллельно резистору R_1 или R_3 в зависимости от того, в какую сторону надо изменить регулируемое напряжение.

Электронный регулятор напряжения Я112

Регулятор предназначен для регулирования напряжения генераторов переменного тока легковых автомобилей «Волга», «Москвич», «Жигули», «Запорожец», грузовых автомобилей и тракторов различных марок, на которых предусмотрена система электропитания с номинальным напряжением 14 В. Регулятор выполнен на мощной гибридной интегральной микросхеме, отличается малыми габаритами (позволяющими встраивать регулятор в генератор), высокой надежностью, повышенной точностью регулирования напряжения, стабильностью регулировочных характеристик в широком диапазоне изменения электрической нагрузки и температуры окружающей среды.

Принципиальная схема регулятора напряжения и его подключение к генератору переменного тока Г-250 и аккумуляторной батарее приведены на рис. 41. Регулятор напряжения состоит из измерительного и управляющего устройств. В состав измерительного устройства входят транзистор T_1 , стабилитрон D_1 , резисторы R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 , R_6 и конденсатор C_1 . Управляющее устройство состоит из диодов D_2 и D_3 , транзисторов T_2 и T_3 , резисторов R_8 и R_9 . Цепочка обратной связи C_2R_7 ускоряет переключение транзисторов из открытого состояния в закрытое и обратно.

Работает регулятор аналогично описанному выше регулятору РР350. При включении замка зажигания на регулятор напряжения

подается питание от аккумуляторной батареи. Транзистор T_1 заперт, транзисторы T_2 и T_3 открыты и находятся в режиме насыщения. По обмотке возбуждения $ОВ$ протекает ток. С увеличением частоты вращения генератора напряжение возрастает и достигает уровня 14 В, при котором происходит пробой стабилитрона D_1 . Падение напряжения на резисторе R_4 , возникающее при прохождении тока стабилитрона, отпирает транзистор T_1 , который в открытом состоянии шунтирует вход транзистора T_2 , транзисторы T_2 и T_3 запираются. Ток в обмотке возбуждения падает, напряжение на

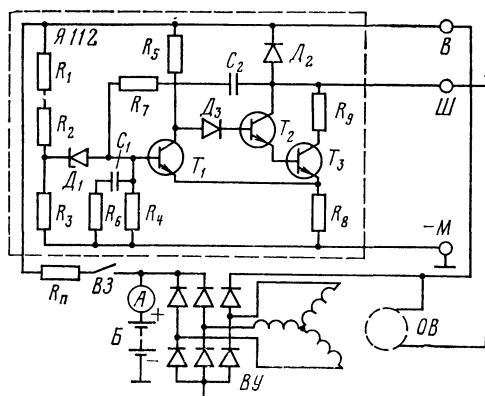


Рис. 41. Схема регулятора напряжения Я112 и его подключение к генератору и аккумуляторной батарее.

зажимах генератора уменьшается до уровня, при котором запирается транзистор T_1 и отпираются транзисторы T_2 и T_3 . Схема возвращается в исходное состояние, а затем циклы повторяются.

Конструктивно регулятор напряжения Я112 выполнен в виде герметически закрытого блока с габаритами $58 \times 38 \times 10$ мм и массой 60 г. Поскольку в регуляторе использованы интегральные микросхемы, его разборка и ремонт невозможны. Регулятор рассчитан на размещение в корпусе специально модифицированных для этого генераторов. Подключение регулятора к генератору осуществляется через специальные выводы.

Если регулятор устанавливается на не предназначенном для этого генераторе, то регулятор должен быть размещен на теплоотводе площадью не менее 80 см^2 .

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДИОДОВ, ПРИГОДНЫХ В КАЧЕСТВЕ РЕЛЕ ОБРАТНОГО ТОКА

Тип диода ¹	Допустимый ток, А	Максимальное обратное напряжение ² , В	Среднее значение падения напряжения, В	Максимальная рабочая температура, °С
Д214	10	100	1,25	75
Д214А	10	100	1,0	75
Д215	10	200	1,25	75
Д215А	10	200	1,0	75
Д231	10	300	1,0	75
Д231А	10	300	1,0	130
Д232	10	400	1,0	75
Д232А	10	400	1,0	130
Д233	10	500	1,0	75
Д242	10	100	1,25	75
Д242А	10	100	1,0	130
Д243	10	200	1,25	75
Д243А	10	200	1,0	130
Д245	10	300	1,25	75
Д245А	10	300	1,0	130
Д246	10	400	1,25	75
Д246А	10	400	1,0	130
Д247	10	500	1,25	75
Д305	10	50	0,35	75

¹ Диод Д305 германиевый, все остальные кремниевые.

² При обратном токе не более 3 мА.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КРЕМНИЕВЫХ СТАБИЛИТРОНОВ

Тип стабилизатора	Напряжение стабилизации, В	Максимальный ток, мА	Тип стабилизатора	Напряжение стабилизации, В	Максимальный ток, мА
2С133А	3,35±0,35	81	Д816Б	27±2,7	160
2С139А	3,9±0,4	70	Д816В	33±3,3	150
2С147	4,65±0,55	65	Д816Г	39±3,9	130
2С156А	5,6±0,56	55	Д816Д	47±4,7	110
2С168А	6,8±0,68	45	Д817А	56±5,6	90
Д814А(Д808)	7,75±0,75	40	Д817Б	68±6,8	75
Д814Б(Д809)	8,75±0,75	36	Д817В	82±8,2	60
Д814В(Д810)	9,75±0,75	32	Д817Г	100±10	50
Д814Г(Д811)	11±1,0	29	Д818А	9±1,35	33
Д814Д(Д813)	12,5±1,5	24	Д818Б	9±1,35	33
Д815А	5,6±0,56	1400	Д818В	9±0,9	33
Д815Б	6,8±0,68	1150	Д818Г	9±0,45	33
Д815В	8,2±0,82	950	Д818Д	9±0,45	33
Д815Г	10±1,0	800	Д818Е	9±0,45	33
Д815Д	12±1,2	650	2С920-А	120±12	42
Д815Е	15±1,5	550	2С930-А	130±13	38
Д815Ж	18±1,8	450	2С950-А	150±15	33
Д816А	22±2,2	230	2С980-А	180±18	28

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Марка генератора	Установлен на автомо- билях	Мощность, Вт	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Частота вращения якоря при номиналь- ном напря- жении, об/мин	Сопротив- ление об- мотки воз- буждения, Ом	Макси- мальный ток воз- буждения, А	Марка реле-регу- лятора, с которым работает генератор
Г2Б, Г2П	ЗИЛ-155, -158, ЛАЗ-695, -697	750	12,5	60	1700	6,5×2	1,8×2	РР5
ГМЗ	ЗИЛ-127	2000	12,5	160	2200	3,2	4,0	РР3, РР103
Г8	„Урал-375“, КрАЗ-214, -221	500	12,5	37	1800	7×2	1,7×2	РР8, РРКТ500
Г8В, Г8Г	ЗИЛ-111, „Урал-375“	450	12,5	35	1600	7×2	1,7×2	РР24, РР27
Г12Б, Г12В, Г12Г, Г12К, Г12Ж	М-21 („Волга“) ГАЗ-51, -56, -63, ЗИЛ-157, -164, -585	225—250	12,5	18— 20	1600	7	1,7	РР24, РР24Г
Г15Б	ЗИЛ-150, -151, -156, -164, -585	225	12,5	18	1450	7,0	1,7	РР12А, РР20, РР24Г
Г16	ЗИЛ-110	230	6	35	1800	4,0	2,0	РР11
Г20А	М-20 („Победа“)	225	12,5	18	1450	7,0	1,7	РР12Д, РР20Б
Г20А	ГАЗ-20, -69	225	12,5	18	1450	7,0	1,7	РР24А, РР24Г
Г21Б	ГАЗ-51, -62, -63 ЗИЛ-157, ПАЗ-651, -653	225	12,5	18	1450	7,0	1,7	РР12А, РР12Б РР20Д, РР24Г2

Марка генератора	Установлен на автомо- билях	Мощность, Вт	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Частота вращения якоря при номиналь- ном напря- жении, об/мин	Сопротив- ление об- мотки воз- буждения, Ом	Макси- мальный ток воз- буждения, А	Марка реле-регу- лятора, с которым работает генератор
Г108М	„Москвич-108“ ГАЗ-62, -69Э ЗАЗ-695 („Запоро- жец“)	250	12,5	20	2000	3,5	3,0	РР24Г
Г112В, Г112Г		225	12,5	18	1600	7,0	1,7	РР12, РР24Э
Г114		160	12,5	13	3000	10	1,25	РР109
Г130В, Г130Г	ГАЗ-53, -66, ЗИЛ-130, „Урал-377“	350	12,5	28	2250	8,0	1,5	РР130, РР122
Г221*	„Жигули-2101“, -2102, -2103		12,5	25	2000	4,5	3,0	РР380
Г250Е1*	ГАЗ-24 („Волга“)	350	12,5	28	2100	3,7	3,5	РР350
Г250Ж*	„Москвич-412“, РАЗ-53А, ЗИЛ-130	350	12,5	28	2000	3,7	3,0	РР362
Г253*	ЛАЗ-694, КавЗ-987	475	12,5	38	2300	7,0	1,7	РР115
Г256*	ЛАЗ-699А	1250	12,5	100	1500	—	—	РР122
Г265*	ПАЗ-672	500	12,5	42	2300	—	—	—
Г270*	КрАЗ, МАЗ	500	25,0	20	1800	—	—	РР137
Г501*	ЗАЗ-966В („Запоро- жец“)	250	12,5	20	2500	9,0	1,5	РР310А
Г731*	БелАЗ-540	1200	25,0	40	—	17×2	1,5×2	РРГ24Д, РРГ32

* Генераторы переменного тока

Марка генератора	Установлен на автомо- билях	Мощность, Вт	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А	Частота вращения якоря при номиналь- ном напря- жении, об/мин	Сопротив- ление сб- мотки воз- буждения, Ом	Макси- мальный ток воз- буждения, А	Марка реле-регу- лятора, с которым работает генератор
Г22	„Москвич-402“, -403, -407, -410, -423	200	12,5	16	2400	7,28	1,6	РР24Б, РР102
Г22Б	„Москвич-401“	130	6	20	2400	3,5	1,9	РР29А
Г25Б, Г25В	МАЗ-200, -205, -500, -501, -502	250	12,5	20	1600	7,0	1,7	РР20В, РР-24Г2
Г29	„Москвич-401“	130	6	20	2400	3,52	1,9	РР29А
Г42	„Урал-352“, -355	225	12,5	18	1800	—	—	РР12, РР24Г1
Г51	ЗИЛ-131	440	12,5	35	—	—	—	РР51
Г52	ЗИЛ-155	1000	12,5	80	850	—	—	РР52
Г56	КрАЗ-219, -222	350	12,5	28	1450	—	—	РР23Б
Г73	ГАЗ-13 (Чайка“)	450	12,5	32	2350	—	—	РР101
Г105Б	МАЗ-500, -503, -504	400	25	16	2000	18,4	1,4	РР105
Г106	МАЗ-200, -205, -501, -502	250	25	10	1650	9,2	2,8	РР106
Г107	МАЗ-500, -502, -504	400	25	16	2000	18,4	1,4	РР107
Г108Б, Г108В, Г108Г, Г108У, 108К	ГАЗ-51, -52, -53Ф, -63, -69, ЗИЛ-157, -164, ГАЗ-21 („Волга“)	250	12,5	20	1800	7,0	1,7	РР12В, РР20, РР24Г

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗАМЕНЕ ДИОДОВ И ТРАНЗИСТОРОВ В СХЕМАХ ЭЛЕКТРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

Элемент	Номер рисунка схемы	Рекомендуемая замена	Подрегулировка после замены
Диоды: Д814Г	21, 25, 26, 30, 31, 33	Д814Д, Д814В, Д810, Д811, Д813	Требуется
Д815Л	28, 32, 34, 40	Д815Б—два последов., Д815А + Д815Б, Д815Е	"
Д815Б	35	Д815А, Д815В	"
Д808	40	Д814А, Д814Б, Д814В, Д809, Д810, Д811	При необходимости
Д204	21, 25, 26	Д203, Д205, Д207, КД202А—КД202С	Не требуется
КД202	28, 30, 31, 33, 34, 35	Д203—Д205, Д207, КД202А—КД202С	То же
КД202В	40	Д203—Д205, Д207, КД202А—КД202С	"
КД202Г	40	Д202—Д206, КД202А—КД202С	"
Д91	21, 25, 26, 30, 33, 34	Д9Б—Д9М, Д9Б—Д2Е	"
Д223	26, 31	Д101—Д106, Д223А, Д223Б	"
Д7Б	38	Д7В—Д7Ж, Д22Б—Д22Д, КД105А — КД105В	"
Д305	28	Д302—Д304; переход коллектор—база транзисторов П4, П201—П203, П213—П217	"
Д231А	21, 25, 26, 28, 31, 35	Д242, Д242А, Д243, Д243А, Д244	"
Д242А	33, 34, 38	Д242, Д243, Д243А, Д244, Д245	"

ПРИЛОЖЕНИЕ 4.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТРАНЗИСТОРОВ, ПРИГОДНЫХ ДЛЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Тип транзистора	Материал ¹	Тип транзистора	Максимальный допустимый ток коллектора, А	Максимальный допустимый ток базы, А	Допустимое напряжение коллектор-эмиттер, В	Остаточное напряжение в открытом состоянии, В	Коэффициент переноса тока	Допустимая мощность, Вт	Максимальная температура, °С
П201	Г	<i>p-n-p</i>	1,5(2) ²	0,3	—30	2,5	20	1(10)	70
П202	Г	<i>p-n-p</i>	2,0(2,5) ²	0,3	—30	2,5	20	1(10)	70
П203	Г	<i>p-n-p</i>	2,0(2,5) ²	0,3	—30	2,5	10	1(10)	70
П213	Г	<i>p-n-p</i>	5,0	0,5	—40	2,5	20	1(11,5)	85
П214	Г	<i>p-n-p</i>	2,0	0,3	—55	2,5	20	1(10)	85
П215	Г	<i>p-n-p</i>	2,0	0,5	—70	2,5	20	1(10)	85
П216	Г	<i>p-n-p</i>	7,5	0,75	—40	0,5	18	(30)	85
П217	Г	<i>p-n-p</i>	7,5	0,75	—60	0,5	15	(30)	85
КТ801А	К	<i>n-p-n</i>	2,0	0,4	+80	1,5	20	(5)	150
КТ802А	К	<i>n-p-n</i>	5,0	1,0	+130	1,5	15	(30)	150
КТ803А	К	<i>n-p-n</i>	10	1,0	+60	1,5	10—70	6(60)	150
П4БЭ	Г	<i>p-n-p</i>	5,0	0,5	—60	0,5	20	3(25)	85
П4ВЭ	Г	<i>p-n-p</i>	5,0	0,5	—35	0,5	25	3(25)	85
П4ГЭ	Г	<i>p-n-p</i>	5,0	0,5	—60	0,5	25	3(25)	85
П4ДЭ	Г	<i>p-n-p</i>	5,0	0,5	—60	0,5	30	3(25)	85
П702	К	<i>n-p-n</i>	2,0	0,5	+60	1,5	25	4(40)	150
КТ805	К	<i>n-p-n</i>	5,0(8) ²	2,0	+160	1,5	10	4(40)	150
П210А	Г	<i>p-n-p</i>	12	0,5	—65	0,2—1,0	10	1,5(30)	85
ГТ701А	Г	<i>p-n-p</i>	12	0,5	—100	0,5	10	1,5(50)	85

¹ К—кремниевый, Г—германиевый.

² В режиме переключения.

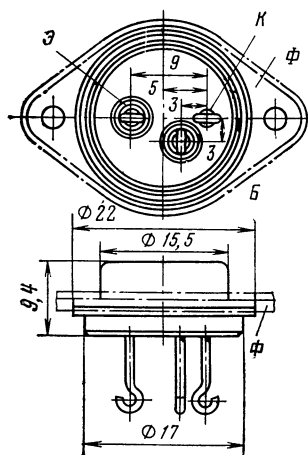
* В скобках указана допустимая мощность с теплоотводом.

Продолжение прилож. 5

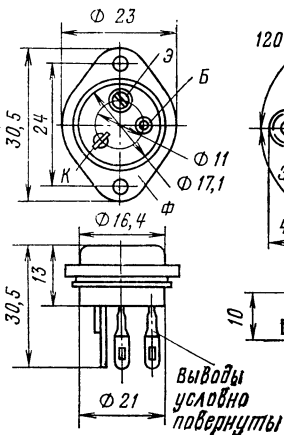
Элемент	Номер рисунка схемы	Рекомендуемая замена	Подрегулировка после замены
Триоды: МП106	30, 31, 33	МП104, МП105, МП114—МП116	Не требуется
МП116	21, 25	МП104—МП106, МП114, МП115	То же
П201А	21, 25, 26, 31	П202, П203, П213—П217, ГТ403	" "
ГТ403	30, 33	П201—П203, П213—П217	" "
П302	40	П303, П303А, П304, П306, П306А	При необходимости
П216	30, 33	П217, П4, ГТ701	Не требуется
П217В	21, 25, 26, 31, 40	П217А—П217Б, П216—П216Г, П4	То же
П4Б	38	П216А—П216Г, П217А—П217Г	" "
П214В	40	П213, П213А, П2ББ, П214А—П214Г, П201—П203, П216А—П216Г	" "
КТ801А	32, 34	КТ801Б, П701А, П701Б, КТ803А	" "
КТ802А	28	КТ803А, КТ805А, КТ805Б	" "
КТ803А	32, 34, 35	КТ802А, КТ805А, КТ805Б	" "
КТ805А	28, 35	КТ805Б, КТ802А, КТ803А	" "

Примечание. Для получения необходимого напряжения стабилизации последовательно со стабилитроном можно включать один или два других стабилитрона или кремневых диода в прямом направлении. При этом каждый диод дает увеличение напряжения на 0,7—1,0 В.

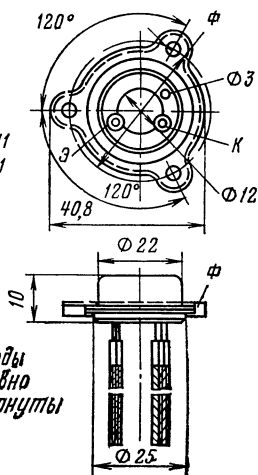
П302 - П306А



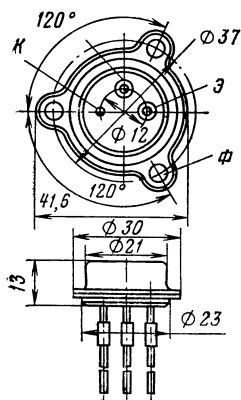
П213 - П217



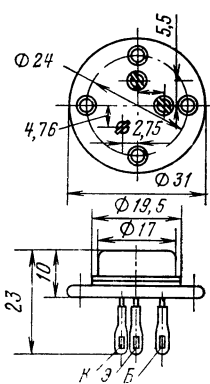
П210Б, П210В



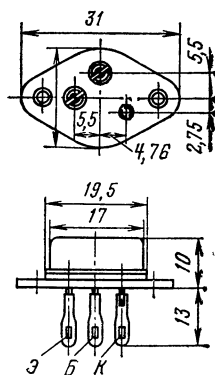
ГТ701А



П4

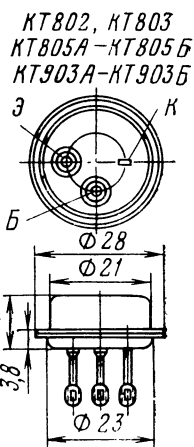
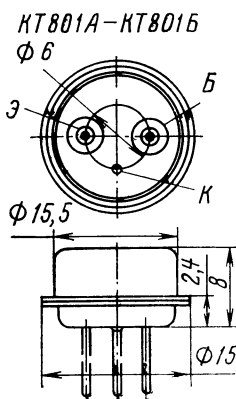
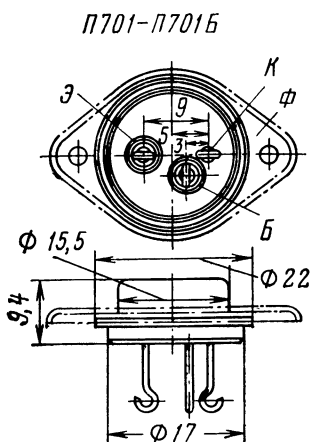
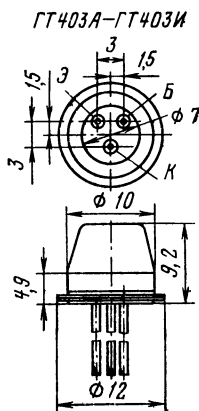
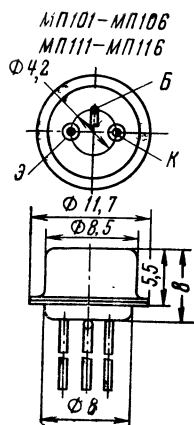


П201 - П203



ПРИЛОЖЕНИЕ 7

РАЗМЕРЫ И РАСПОЛОЖЕНИЕ ВЫВОДОВ ТРАНЗИСТОРОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ЭЛЕКТРОННЫХ РЕГУЛЯТОРАХ



ПРИЛОЖЕНИЕ 6

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ, ВЫПУСКАЕМЫХ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ

Характеристика	РР362	РР362А	РР350	Я112
Номинальное напряжение, поддерживаемое регулятором при температуре 120°С, В	13,3— 14,1	13,8— 14,6	13,2— 14,5	13,8— 14,2*
Номинальный ток нагрузки, В	28	28	28	28
Диапазон скоростей вращения якоря генератора при регулировании, об/мин	2500— 10 000	2500— 10 000	2500— 10 500	2000— 10 000
Ток срабатывания реле защиты, А	3,2—3,6	3,2—3,6	—	—
Падение напряжения в регуляторе при токе возбуждения 3А, В	—	—	2,0	1,2

Примечание. Реле-регулятор типа РР362 устанавливается на легковых и грузовых автомобилях с генератором Г250 различных модификаций.

Реле-регулятор РР362А устанавливается на автомобилях „Москвич-412“ с генератором Г250-Ж.

Реле-регулятор РР350 устанавливается на автомобиле „Волга“ М-24 с генератором Г250-Е1.

Реле-регулятор Я112 устанавливается на легковых, грузовых автомобилях и тракторах с генератором Г250 различных модификаций.

* В диапазоне температур —40÷65°С.

Содержание

Предисловие ко второму изданию	3
Работа регуляторов напряжения, ограничителей тока, реле обратного тока	4
Назначение регуляторов напряжения. Оптимальное напряжение сети электрооборудования	4
Регулятор напряжения	6
Ограничитель максимального тока	9
Реле обратного тока	9
Элементы электронного регулятора	11
Реле обратного тока	11
Измерительные элементы	12
Общие требования к управляющему элементу	17
Транзисторы схем управления	18
Схемы включения нагрузки управляющих элементов	19
Схемы регуляторов напряжения	22
Каскады усиления	25
Практические схемы электронных регуляторов	27
Регулятор для 12-вольтовых генераторов с «минусом» на массе	27
Модифицированные варианты регулятора для 12-вольтовых генераторов постоянного тока с «минусом» на массе	33
Регуляторы для 24-вольтовых генераторов с «минусом» на массе	38
Регуляторы для 12-вольтовых генераторов переменного тока с «минусом» на массе	38
Регулятор для 12-вольтовых генераторов с «плюсом» на массе	41
Изготовление и регулировка электронных регуляторов	43
Конструкция	43
Регулировка	45
Установка и испытание	47
Электронные регуляторы напряжения, выпускаемые промышленностью	47
Контактно-транзисторный регулятор РР362	48
Бесконтактный транзисторный регулятор напряжения РР350	55

Электронный регулятор напряжения Я112	59
Приложение 1. Основные параметры диодов, пригодных в качестве реле обратного тока	61
Приложение 2. Основные параметры кремниевых стаби- литронов	61
Приложение 3. Основные параметры автомобильных гене- раторов	62
Приложение 4. Основные параметры транзисторов, при- годных для управляющих элементов	65
Приложение 5. Рекомендации по замене диодов и тран- зисторов в схемах электронных регуляторов	66
Приложение 6. Основные характеристики электронных регуляторов напряжения, выпускаемых промышленностью	68
Приложение 7. Размеры и расположение выводов тран- зисторов, используемых в электронных регуляторах . . .	69

35 к.

